

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

**DOTTORATO DI RICERCA IN SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE,
AMBIENTALI E ALIMENTARI**

Scuola di Ingegneria Agraria

XXVII CICLO, A.A. 20011/12

Settore concorsuale di afferenza: 07/C1 Ingegneria Agraria, Forestale e dei Biosistemi

Settore Scientifico Disciplinare: AGR/10 Costruzioni rurali e territorio agroforestale

TITOLO:

Miglioramento delle performance termiche e energetiche degli edifici rurali: valutazione del retrofit di locali per la conservazione del vino su casi studio

Presentata da: Federica De Maria

Coordinatore Dottorato:

Prof. Giovanni Dinelli

Relatrice:

Prof.ssa Patrizia Tassinari

Correlatore:

Alberto Barbaresi, PhD

Esame finale anno 2015

INDICE

INDICE.....	- 3 -
SOMMARIO.....	- 5 -
ABSTRACT.....	- 5 -
CAPITOLO 1 – INTRODUZIONE E OBIETTIVI.....	- 7 -
CAPITOLO 2 – STATO DELL’ARTE	- 9 -
2.1. LETTERATURA SCIENTIFICA	- 9 -
2.1.1. <i>La conservazione del vino</i>	- 9 -
2.1.2. <i>La progettazione delle cantine</i>	- 10 -
2.1.2. <i>Il retrofit nei locali vinicoli</i>	- 11 -
2.3. NORMATIVA ENERGETICA.....	- 13 -
2.3.1. <i>Normativa energetica europea</i>	- 13 -
2.3.2. <i>Normativa energetica italiana</i>	- 14 -
2.3.3. <i>Normativa energetica in Emilia-Romagna</i>	- 17 -
2.3.4. <i>Norme UNI per le metodologie di calcolo</i>	- 18 -
CAPITOLO 3 - MATERIALI E METODI	- 19 -
3.1. AREA STUDIO	- 19 -
3.2. I CASI STUDIO.....	- 22 -
3.2.1. Azienda MO.01.....	- 23 -
3.2.1.1. Azienda MO.01 – Fabbricato 1	- 23 -
3.2.1.2. Azienda MO.01 – Fabbricato 2.....	- 25 -
3.2.2. Azienda CP.01.....	- 26 -
3.2.2.1. Azienda CP.01 – Fabbricato 3	- 27 -
3.2.3. Azienda DI.02.....	- 28 -
3.2.3.1. Azienda ID.02 – Fabbricato 4.....	- 29 -
3.3. DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI E DEGLI SCENARI PROGETTUALI DI RIQUALIFICAZIONE	- 30 -
3.3.1. <i>Definizione degli interventi</i>	- 30 -
3.3.1.1. Isolamento a cappotto delle pareti esterne	- 31 -
3.3.1.2. Ombreggiatura esterna	- 33 -
3.3.1.3. Isolamento della copertura.....	- 34 -
3.3.2. <i>Definizione degli scenari</i>	- 36 -
3.4. CRITERI E METODOLOGIA DI ANALISI DELLE PERFORMANCE TERMICHE ED ENERGETICHE	- 36 -
3.4.1. <i>Raggiungimento della temperatura di confort del vino in assenza di impianti di controllo termico</i>	- 38 -
3.4.2. <i>Minimizzazione del fabbisogno energetico in presenza di impianti di controllo termico</i>	- 40 -
3.4.2.1 Stima dei costi degli interventi.....	- 41 -
3.5. MODELLAZIONE E SIMULAZIONE ENERGETICA	- 41 -
3.5.1. <i>Energy Plus</i>	- 41 -
3.5.2. <i>OpenStudio</i>	- 42 -
3.5.3. <i>Il file meteo</i>	- 45 -
3.5.4. <i>Considerazioni sulla validità del modello rispetto al caso reale</i>	- 47 -
3.5.5. <i>Modellazione dei quattro casi studio</i>	- 49 -
CAPITOLO 4 - RISULTATI.....	- 55 -
4.1. ANALISI DEGLI SCENARI IN ASSENZA DI IMPIANTI DI CONTROLLO TERMICO	- 55 -
4.1.1. <i>Analisi del discomfort complessivo annuo</i>	- 62 -
4.1.2. <i>Analisi della stabilità termica: scostamenti dall’intervallo di confort termico</i>	- 72 -
4.1.3. <i>Considerazioni finali</i>	- 77 -
4.2. ANALISI DEGLI SCENARI IN PRESENZA DI IMPIANTI DI CONTROLLO TERMICO	- 80 -
4.2.1. <i>Analisi degli scenari</i>	- 80 -
4.2.2. <i>Stima dei costi degli interventi</i>	- 88 -
4.2.3. <i>Osservazioni sulla convenienza degli interventi</i>	- 92 -
4.2.4. <i>Considerazioni finali</i>	- 94 -
BIBLIOGRAFIA	- 98 -
ALLEGATI.....	- 101 -

Sommario

Il presente studio si colloca all'interno di una ricerca più ampia volta alla definizione di criteri progettuali finalizzati all'ottimizzazione delle prestazioni energetiche delle cantine di aziende vitivinicole, di dimensioni produttive medio - piccole. Nello specifico la ricerca riguarda la riqualificazione di fabbricati rurali esistenti di modeste dimensioni, da convertire a magazzini per la conservazione del vino in bottiglia. Lo studio si pone come obiettivo la definizione di criteri di analisi per la valutazione di interventi di retrofit di tali fabbricati, volto sia al miglioramento delle prestazioni energetiche dell'involucro edilizio, sia alla riduzione del fabbisogno energetico legato al funzionamento di eventuali impianti di controllo termico. La ricerca è stata condotta mediante l'utilizzo del software di simulazione termica Energy Plus, per ottenere i valori simulati di temperatura interna relativi ai diversi scenari migliorativi ipotizzati, e mediante la successiva definizione di indicatori che esplicitino l'influenza delle principali variabili progettuali sull'andamento delle temperature interne dei locali di conservazione e sul fabbisogno energetico del fabbricato necessario a garantire l'intervallo di temperatura di comfort del vino.

Tra tutti gli interventi possibili per il miglioramento della prestazione energetica degli edifici, quelli analizzati in questo studio prevedono l'aggiunta di un isolamento a cappotto delle pareti esterne, l'isolamento della copertura e l'aggiunta di una struttura ombreggiante vegetale esterna.

I risultati ottenuti danno una prima indicazione sugli interventi più efficaci in termini di miglioramento energetico e mettono in luce l'utilità del criterio proposto nell'evidenziare le criticità degli interventi migliorativi ipotizzati. Il metodo definito nella presente ricerca risulta quindi un valido strumento di valutazione a supporto della progettazione degli interventi di retrofit dei fabbricati rurali da convertire a magazzini per la conservazione del vino.

Abstract

This study is part of a broader research that aims to define design criteria to optimize energy performances of wineries in small-medium wine-growing and producing farms. Specifically, the research involves the renovation of small existing farm buildings, to be converted into warehouses for wine bottles storage. The study aims to define analysis criteria for the building retrofit assessment aimed at the evaluation of the building envelope energy performance for unconditioned buildings and of the reduction of thermal control system energy demand for conditioned buildings.

The hypothesized retrofit interventions consist in the addition of thermal insulation applied on the external walls, roof insulation and external vegetable shading structure. These interventions are evaluated separately and combined. The study was carried out by means of the energy simulation program EnergyPlus. For each scenario EnergyPlus provided, as output, building indoor temperatures allowing the definition of indicators based on the thermal comfort for the wine. The

indicators showed the influence of the considered intervention on the indoor temperatures or on the building's energy demand, .

The results give first indications on the most effective retrofit intervention in terms of energy efficiency and underline the usefulness of the proposed criterion to highlight retrofits' critical issues. The method defined in this research is therefore a valuable assessment tool to support retrofit's design of farm buildings to be converted into wine-aging room.

Key words: retrofit, winery, energy efficiency, wine-aging, insulation, green shading surface

Capitolo 1 – Introduzione e obiettivi

Negli ultimi anni si è assistito ad una continua crescita di interesse nei confronti della tematica del risparmio energetico. In ambito edilizio è ampiamente diffuso l'utilizzo di impianti di controllo termico, atti a garantire il mantenimento di temperature idonee al benessere dell'uomo, in strutture ad uso residenziale o uffici, o idonee ai processi di lavorazione, in strutture industriali. D'altra parte questi sistemi di controllo termico, necessitano di grandi quantità di energia che possono incidere notevolmente sui costi e quindi sulla competitività delle aziende, oltre ad avere ricadute negative in termini ambientali. Proprio per questa ultima ragione, di recente sono state emanate specifiche normative volte a limitare i consumi energetici dovuti al funzionamento degli impianti di raffrescamento e di riscaldamento. Il presente studio riguarda in particolare le cantine vinicole, limitatamente alle aziende medio - piccole.

Come tutti i processi di trasformazione, anche il processo vinicolo comporta una serie di ripercussioni sull'ambiente, derivanti anche dall'utilizzo di impianti di condizionamento dell'aria per il controllo delle temperature, sia in quei locali in cui è prevista l'attività umana, sia per i locali di conservazione o invecchiamento, all'interno dei quali vanno garantite specifiche condizioni termigrometriche per il benessere del vino, sia nei locali di vinificazione, in cui va asportato il calore prodotto dalla fermentazione.

Data la presenza di un importante patrimonio architettonico sul territorio nazionale, in Italia risulta di notevole importanza la tematica della limitazione del fabbisogno energetico applicata anche all'esistente, non solo quindi in fase di progettazione dei fabbricati di nuova costruzione, ma anche nella progettazione degli interventi di ristrutturazione e recupero di fabbricati esistenti. Il presente studio si occupa in particolare di fabbricati rurali di dimensioni medio - piccole (dell'ordine di 200-2000 m³), già coinvolti nella produzione vinicola o convertibili in locali per il processo viti-vinicolo, in particolare in relazione alla fase dell'affinamento in bottiglia.

Scopo del presente studio è quello di identificare un metodo di valutazione degli interventi di retrofit di tali fabbricati, volti al raggiungimento e al mantenimento delle condizioni di comfort del vino, all'interno dei locali ristrutturati, senza l'ausilio di impianti di controllo termico, sfruttando quindi unicamente le caratteristiche architettoniche del fabbricato, quali la posizione geografica, l'orientamento, la geometria e l'involucro edilizio. Parallelamente verrà definito un analogo criterio di valutazione di interventi di retrofit, volti però alla riduzione del fabbisogno energetico degli impianti di controllo termico, prevedendo quindi, oltre alla ristrutturazione architettonica del fabbricato, anche il futuro inserimento di impianti di riscaldamento e raffrescamento, atti a garantire il mantenimento dell'intervallo di temperatura richiesto per il benessere del vino all'interno dei locali interessati.

L'analisi verrà condotta su alcuni casi studio, mettendo a confronto lo stato di fatto con gli scenari migliorativi. In questo modo, oltre a definire i criteri di valutazione del retrofit, verranno analizzate ipotetiche soluzioni progettuali di riqualificazione, rendendo possibile l'individuazione degli interventi più efficaci in termini di miglioramento energetico. Le analisi verranno svolte con l'ausilio di un software di simulazione energetica per gli edifici, molto utile per un controllo preciso del parametro temperatura.

Nel dettaglio, la tesi è così suddivisa:

- nel Capitolo 2 viene riportato lo stato dell'arte (Paragrafo 2.1), con particolare attenzione alla letteratura scientifica, nel campo del processo vinicolo, della progettazione delle cantine e del miglioramento energetico, e alla normativa energetica nel campo delle costruzioni (Paragrafo 2.2) in ambito europeo, nazionale e regionale;
- nel Capitolo 3 vengono esplicitati i materiali e i metodi utilizzati nella ricerca; in particolare viene descritta l'area studio (Paragrafo 3.1), i singoli casi studio analizzati (Paragrafo 3.2), gli interventi di retrofit ipotizzati (Paragrafo 3.3), i criteri di valutazione, trattando separatamente i casi in assenza e in presenza di impianti di controllo termico (Paragrafo 3.4), e le modalità di simulazione (paragrafo 3.5);
- nel Capitolo 4 sono invece elencati e commentati i risultati ottenuti dalle simulazioni termiche ed energetiche, sempre trattando separatamente i casi in assenza (Paragrafo 4.1) e in presenza (Paragrafo 4.2) di impianti di controllo termico;
- il Capitolo 5 riporta infine le conclusioni generali sull'intero lavoro svolto;
- in allegato è inoltre riportato un approfondimento su un caso studio (allegato A), relativo a due scenari di retrofit aggiuntivi.

Capitolo 2 – Stato dell'arte

2.1. Letteratura scientifica

2.1.1. La conservazione del vino

Il processo produttivo del vino comprende diverse operazioni: la vendemmia, il conferimento dell'uva raccolta negli spazi predisposti, la pigiatura (che produce la fuoriuscita del mosto dagli acini), la diraspatura (che consiste nella separazione degli acini dai raspi e che viene spesso effettuata in contemporanea alla pigiatura, mediante macchine pigiadiraspatrici), la sgrondatura (separazione della prima parte di mosto dalle parti solide rimaste), la pressatura (mediante torchi che separano mosto e vino dalle vinacce), la vinificazione vera e propria, che segue passaggi diversi a seconda della tipologia di vino, e l'imbottigliamento del prodotto ottenuto, previo eventuale affinamento in barrique. Sia il vino imbottigliato che quello affinato in barrique necessitano di particolari condizioni di conservazione: scarsa illuminazione, bassi livelli di umidità, assenza di odori nocivi, temperature stabili e mediamente basse. All'interno del presente studio, riveste un ruolo fondamentale proprio quest'ultimo parametro: la temperatura interna dei locali di conservazione.

L'invecchiamento è una fase fondamentale per l'ottenimento di vini di alta qualità, che richiede condizioni ambientali stabili durante l'intera durata del processo. Il vino viene generalmente conservato all'interno dei vasi vinari o in bottiglie di vetro, eventualmente, per quest'ultime, dopo un periodo di affinamento in botti di rovere. Tra i diversi parametri che controllano il processo di invecchiamento, il più importante è la temperatura: le alte temperature possono infatti danneggiare le caratteristiche organolettiche del vino, mentre le basse temperature possono rallentarne la maturazione, anche se ne favoriscono la stabilizzazione naturale, provocando la precipitazione di tartrati e composti coloranti instabili (Martin and Canas 2006).

La temperatura interna dei locali di conservazione e invecchiamento è stata perciò oggetto di numerosi studi volti all'individuazione di un intervallo di temperatura ideale. Per i vini rossi, Troost e Hidalgo Togores indicano un intervallo di comfort da 12°C a 15°C (Hidalgo Togores 2003; Troost 1953); 12°C (e comunque massimo 15°C) sono invece suggeriti da Vogt (Vogt 1971). Per i vini bianchi, invece, l'intervallo va da 9°C a 12°C secondo Troost e da 8°C a 12° secondo Vogt. Genericamente per entrambe le tipologie di vino, Bondiac prevede una temperatura tra 10°C e 12°C (Bondiac 1953), Marescalchi tra i 15°C e i 20° C per il primo anno di conservazione e tra i 4° e i 12°C per gli anni successivi (Marescalchi C. 1965), la SEPSA raccomanda una temperatura costante tra gli 8°C e i 14°C e comunque mai superiori ai 25°C o inferiore ai 4°C (SEPSA 1952), Ribereau-Gayon evidenzia i rischi relativi ad una conservazione a temperature maggiori di 20°C, affermando come le basse temperature garantiscano invece l'assenza di problemi (Ribereau-

Gayon et al. 2002); analogamente anche secondo Christaki e Tzia il mantenimento delle temperature sotto i 12°C eviterebbe l'insorgere di problemi di ammaloramento del prodotto (Christaki and Tzia 2002). Altri studi forniscono invece indicazioni sulle oscillazioni di temperatura: secondo Vogt l'oscillazione annuale deve essere compresa entro i 5-6°C, mentre Ruiz Hernandez e Zamora evidenziano genericamente il rischio dovuto alle eccessive oscillazioni e alle alte temperature estive (Ruiz Hernandez 1999; Zamora 2003).

L'analisi della letteratura dimostra quindi che non esistono indicazioni precise e di valenza generale sulla temperatura di comfort del vino, viene comunque evidenziata, pressoché unanimemente, la pericolosità delle alte temperature (superiori ai 20-25°C) per una corretta procedura di affinamento o conservazione del prodotto in bottiglia.

2.1.2. La progettazione delle cantine

Una possibile risoluzione del problema legato alle alte temperature estive consiste nell'utilizzo di locali interrati, già utilizzati nell'antichità (Alberti 1565; Di Giorgio Martini 1967), i quali, grazie alle caratteristiche del terreno, presentano un andamento della temperatura interna idoneo a quello richiesto dal vino durante l'affinamento, mantenendo le temperature entro intervalli opportuni e limitando le oscillazioni termiche. Molti studi recenti, basati su monitoraggi di fabbricati esistenti, forniscono infatti valide indicazioni per la progettazione di locali interrati per la conservazione del vino, ai fini di un uso razionale degli impianti di climatizzazione e di una riduzione dei consumi energetici (Barbaresi et al. 2014; Martín Ocaña and Cañas Guerrero 2005, 2006).



Figura 1 – Esempi di cantine ipogee: la cantina Antinori a San Casciano e il Carapace di Arnaldo Pomodoro

Tuttavia, dato l'alto costo di realizzazione dei fabbricati interrati e, inizialmente, il basso costo dell'energia elettrica, dalla seconda metà del Novecento, nuovi fabbricati fuori terra dotati di impianti di climatizzazione sono stati preferiti ai locali interrati. Tale soluzione permette un preciso

controllo delle condizioni termo-igrometriche interne, a fronte però di un consumo energetico spesso molto elevato. L'aumento progressivo dei costi dell'energia, l'orientamento normativo nazionale ed europeo finalizzato al risparmio energetico e la crescente sensibilità pubblica stanno perciò spingendo la ricerca verso la definizione di criteri progettuali che consentano il mantenimento delle temperature idonee anche in assenza di impianti di controllo termico, sfruttando le condizioni ambientali al contorno (quali il sito, l'orientamento, le condizioni meteorologiche, la stratigrafia dell'involucro, la geometria dello spazio, ecc.). La recente produzione scientifica fornisce però indicazioni progettuali prevalentemente sulle cantine industriali (Ayuga 1999), sulle innovazioni tecnologiche legate alle attrezzature e agli impianti (Jacquet and Capdeville 2007) e sulla progettazione degli spazi nel rispetto delle norme sulla sicurezza nei luoghi di lavoro (Failla, Tomaselli, and Strano 2008) e nel rispetto dei principi di sostenibilità paesaggistica, relazionata all'inserimento paesaggistico e all'uso del suolo (Fichera, Tomaselli, and Di Fazio 1995). Risulta finora poco approfondito, invece, l'aspetto della progettazione architettonica dell'involucro, orientata al mantenimento all'interno dei locali delle condizioni termo-igrometriche idonee alla conservazione e all'affinamento del vino, anche se recenti studi hanno comunque dimostrato la possibilità di raggiungere tali temperature, non solo nei locali interrati, ma anche nelle costruzioni fuori terra, senza l'ausilio di impianti di controllo termico (Mazarrón, Cid-Falceto, and Cañas-Guerrero 2012).

2.1.2. Il retrofit nei locali vinicoli

La produzione vinicola italiana è caratterizzata prevalentemente dalla presenza di aziende medio - piccole, per molte delle quali non sempre risulta conveniente la costruzione di nuove strutture progettate ad hoc; spesso, infatti, la disponibilità di strutture esistenti e l'idoneità di tali fabbricati, una volta ristrutturati, ad ospitare funzioni del processo vitivinicolo, porta i proprietari a cercare strade alternative alla nuova costruzione. Data inoltre la ricchezza del patrimonio architettonico rurale italiano e la crescente volontà di un suo recupero, risulta quindi interessante uno studio sul retrofit di fabbricati rurali esistenti da adibire a locali per il processo vinicolo, argomento finora non trattato dalla letteratura scientifica. Per individuare i possibili interventi migliorativi atti a garantire il comfort termo-igrometrico del vino, è però possibile basarsi sulle ricerche condotte sul retrofit di generici fabbricati industriali (numericamente limitate) e sul retrofit di strutture edilizie ad uso ufficio o residenziale. Numerosi sono infatti gli studi condotti in quest'ultimo campo, finalizzati alla riduzione massima dei consumi elettrici legati agli impianti di controllo termico. Poiché le temperature più critiche per la conservazione del vino risultano essere quelle estive, tra questi risultano interessanti soprattutto gli studi sugli interventi di retrofit utilizzati per abbattere le alte temperature, riducendo quindi i consumi elettrici legati agli impianti di raffrescamento.

Per ridurre le alte temperature estive, ma anche per mitigare le basse temperature invernali, numerosi studi evidenziano come gli isolamenti (in parete o in copertura) svolgano un ruolo

primario (Al-Homoud 2005a, 2005b; Papadopoulos 2005). Tra i materiali termoisolanti più diffusi si possono annoverare gli isolanti di origine minerale (argilla, vermiculite e perlite espanse, vetro cellulare, lana di vetro, ecc.), quelli di origine vegetale (sughero, cellulosa, fibre di cocco, fibre di legno, ecc.), quelli di origine animale (lana di pecora) e i materiali di sintesi (polistirene, polistirolo, polietilene, ecc.). Le caratteristiche termiche dei materiali isolanti vengono comunemente espresse in termini di densità, di conduttività termica e di calore specifico (Tabella 1).

Attualmente è diffusa la tendenza a privilegiare i materiali naturali, in quanto comunemente ritenuti ecocompatibili, per quanto diversi studi dimostrino il maggior impatto ambientale di alcuni di questi, rispetto agli isolanti sintetici, in termini di intero ciclo di vita (Schmidt et al. 2004). Interessante è anche l'utilizzo di materiali di riciclo, come ad esempio le fibre di poliestere riciclate (Patnaik et al. 2015).

Materiali isolanti	Densità (kg/m ³)	Conduttività (W/mK)	Calore specifico (J/kgK)
Cotone	30	0.040	1340
Vermiculite espansa	90	0.070	1090
Argilla espansa	350	0.090	920
Polietilene espanso in lastre	30	0.040	1350
Polistirene espanso in lastre	20	0.040	1350
Polistirene estruso in lastre	35	0.035	1350
Fibra in lino	30	0.040	1500
Lana di vetro	20	0.040	670
Lana di Canapa	40	0.040	1700
Pannelli porosi in fibra di legno	190	0.045	2100
Pannelli in lana di legno mineralizzati	400	0.093	2100
Pannelli di calcio silicato	250	0.060	710
Fibra di cocco	70	0.045	1600
Pannelli di sughero	110	0.045	1500
Perlite espansa	90	0.050	1000
Poliuretano	30	0.030	1670
Lana di pecora	25	0.040	1710
Vetro cellulare	120	0.041	840
Lana di roccia	30	0.040	1030
Paglia	100	0.053	1500
Paglia pressata	340	0.090	1500
Fiocchi di cellulosa	50	0.040	1900
Pannelli di cellulosa	70	0.040	1900

Tabella 1 – Alcuni materiali isolanti e relative caratteristiche (densità, conduttività e calore specifico)¹

¹ I dati riportati in tabella sono ricavati da una media di valori presenti in letteratura (Papadopoulos 2005; Zevi 2006).

Oltre all'utilizzo di materiali isolanti, in letteratura vengono analizzati anche altri sistemi volti alla riduzione delle alte temperature estive, come ad esempio i sistemi schermanti esterni verticali, studiati però principalmente in applicazione ad edifici residenziali o ad uffici, allo scopo di ottenere un'ideale illuminazione interna riducendo gli apporti di calore (Hussain and Amneh H. 2010). In questo contesto risultano interessanti le schermature verdi (Alexandri and Jones 2008; Kumar and Kaushik 2005; Perini et al. 2013) realizzate con piante rampicanti e apposite strutture di sostegno, che conciliano l'eco-compatibilità con l'abbattimento delle temperature estive; utilizzando piante a foglia caduca, inoltre, è possibile ridurre quasi a zero l'effetto ombreggiante nei periodi invernali, quando è invece preferibile un maggior apporto di calore (nel caso delle cantine) e di luce (nel caso di uffici ed edifici residenziali).



Figura 2 – Esempi di schermature vegetali: il Biopark e l'Oasis d'Aboukir a Parigi

2.3. Normativa energetica

2.3.1. Normativa energetica europea

Le prime norme emanate dalla Comunità europea, finalizzate al risparmio energetico, sono state la Direttiva 89/106/CEE e la Direttiva 92/42/CEE, riguardanti rispettivamente la certificazione dei materiali da costruzione (uniformando le norme esistenti nei diversi Paesi membri) e le caldaie (introducendone la certificazione).

Successivamente sono stati introdotti i primi criteri per quantificare e ridurre il fabbisogno energetico dei fabbricati (residenziali e industriali) legato alla climatizzazione, e sono stati fissati i primi limiti relativi alle emissioni di CO₂. In particolare, la Direttiva 92/75/CEE del 22/09/1992

obbliga i produttori di apparecchi elettrici a indicarne i consumi e la Direttiva 93/76/CEE mira alla riduzione delle emissioni di CO₂, grazie all'attuazione di programmi nei settori della certificazione energetica degli edifici, del finanziamento degli investimenti di efficienza energetica, di isolamento termico degli edifici nuovi e di controllo periodico delle caldaie.

Con la Direttiva 2001/77/CE, poi sostituita dalla Direttiva 2009/28/CE, viene promosso l'impiego di energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili.

Nel 2002 viene introdotto il concetto di certificazione energetica basata sul rendimento energetico integrato negli edifici, con la Direttiva 2002/91/CE, che fornisce una metodologia di calcolo per il rendimento energetico degli edifici, i requisiti minimi di rendimento energetico per edifici di nuova costruzione e per quelli esistenti di grande metratura, sottoposti a consistenti ristrutturazioni. La Direttiva si inserisce nei provvedimenti nati dopo il Protocollo di Kyoto del 1997, che impegna i paesi industrializzati e quelli ad economia in transizione a ridurre le principali emissioni di gas serra responsabili del riscaldamento globale; la Direttiva impone una riduzione del fabbisogno energetico per la climatizzazione degli edifici che corrisponderebbe al soddisfacimento del 20% dei parametri previsti dal Protocollo di Kyoto.

Seguono la Direttiva 2010/31/UE, che propone delle linee-guida per gli Stati membri relative alla prestazione energetica degli edifici, al fine di ridurre il consumo di energia del settore dell'edilizia, che rappresentando il 40% del consumo totale di energia nell'Unione Europea risulta una priorità nell'ambito degli obiettivi "20-20-20"², e la Direttiva 2012/27/UE, che, sempre in riferimento agli obiettivi "20-20-20", chiede agli Stati membri di risparmiare energia, fissando obiettivi nazionali indicativi di efficienza energetica, e di mettere a disposizione dei fornitori di servizi energetici, dei responsabili delle questioni energetiche e degli installatori di elementi edilizi connessi all'energia, adeguati programmi di formazione e sistemi di certificazione e/o accreditamento e/o regimi equivalenti di qualificazione riconosciuti e condivisi tra i paesi.

2.3.2. Normativa energetica italiana

Il primo provvedimento italiano sulla questione energetica è invece del 1976: la legge 373/76 si occupa in particolare del consumo energetico per la climatizzazione, fissando limiti di potenza per gli impianti di riscaldamento, attraverso un coefficiente legato al volume da riscaldare, e imponendo valutazioni circa l'isolamento termico degli edifici, senza però esplicitare i metodi di verifica della potenza o dell'efficienza degli impianti.

La Legge 10/91 fissa, invece, i limiti massimi per il fabbisogno di energia per le nuove costruzioni e i limiti minimi per il rendimento degli impianti, rimandando alle norme UNI le modalità di calcolo e di

² Comunicazione della Commissione del 13 novembre 2008 intitolata «Efficienza energetica: conseguire l'obiettivo del 20%». La comunicazione illustra i progetti futuri volti al conseguimento dell'obiettivo, denominato « 20-20-20 », di riduzione del 20% dei consumi di energia primaria entro il 2020.

verifica; inoltre adotta come parametro di valutazione, non più la potenza dell'impianto, ma il fabbisogno energetico dell'edificio.

Nel 2005, tramite il D.Lgs 192/05, viene recepita la Direttiva europea 2002/91/CE: si precisano gli obiettivi di contenimento dei consumi energetici, si definisce il concetto di "efficienza energetica" come "la quantità annua di energia effettivamente consumata ad un uso standard dell'edificio", si definiscono la metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche, i requisiti minimi di prestazione energetica, i criteri generali di certificazione energetica per le nuove costruzioni e per le ristrutturazioni sopra i 1000 mq, e le ispezioni periodiche obbligatorie degli impianti, e viene inoltre introdotto il certificato energetico. Nel dettaglio, il decreto lascia la competenza in materia energetica alle singole regioni, evidenziando come una normativa specifica regionale ottimizzerebbe le leggi alla propria situazione, tenendo conto delle proprie risorse energetiche, dei propri consumi e del proprio clima.

L'anno successivo, col Decreto 311/06, si introducono la graduale riduzione della superficie di intervento minimo per l'applicazione del decreto agli edifici da ristrutturare (precedentemente fissata a 1000 mq), l'estensione (futura) dell'obbligo di certificazione energetica anche agli edifici esistenti, l'indice di prestazione energetica (EP), che riferisce il consumo di energia primaria all'unità di superficie utile, per l'uso residenziale, o di volume, per gli altri usi; si prevede inoltre l'utilizzo dell'"attestato di qualificazione energetica" (AQE), nelle Regioni che non abbiano ancora provveduto all'introduzione di un modello certificato, nel quale devono essere riportati i fabbisogni di energia primaria, la classe energetica dell'edificio in relazione al sistema di certificazione, i possibili interventi migliorativi con i relativi passaggi di classe e la firma di un tecnico abilitato.

Col Decreto Ministeriale del 26 Giugno 2009, viene attuata la Direttiva europea 2002/91/CE, specificando le Linee Guida Nazionali (Allegato A) e le norme tecniche di riferimento (Allegato B). Si impone inoltre di esplicitare, nell'Attestato di Certificazione Energetica, l'efficienza energetica dell'edificio, le classi prestazionali riferite ai valori di riferimento a norma di legge e le indicazioni economicamente sostenibili per interventi di riqualificazione energetica; si pongono 10 anni come limite massimo di validità dell'Attestato di Certificazione Energetica, purché vengano rispettate tutte le scadenze relative a controlli e manutenzione degli impianti; si impone l'aggiornamento dell'attestato ad ogni intervento di ristrutturazione, edilizio e impiantistico, che modifica la prestazione energetica dell'edificio.

La prestazione energetica dell'edificio viene espressa attraverso l'indice di prestazione energetica globale (EP_{gl} o EP_{tot}), dato dalla somma di EP_i (indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale), EP_{acs} (indice di prestazione energetica per la produzione dell'acqua calda sanitaria), E_{pe} (indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva) e EP_{ill} (indice di prestazione energetica per l'illuminazione artificiale).

Le classi energetiche di riferimento dipendono dai *Gradi Giorno* delle località e dal rapporto di forma S/V (superficie disperdente/volume lordo riscaldato) dell'edificio.

Il calcolo può essere effettuato o mediante il Metodo di Calcolo da Progetto, che fornisce la valutazione della prestazione energetica, per gli edifici di nuova costruzione e per quelli completamente ristrutturati, a partire dai dati teorici del progetto energetico dell'edificio e dei sistemi impiantistici a servizio del fabbricato, oppure mediante il Metodo di Calcolo da Rilievo, che fornisce la valutazione della prestazione energetica a partire dai dati ottenuti da indagini svolte sull'edificio da certificare.

	Edifici di classe E.1 (esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme) kWh/m²anno	Altri edifici kWh/m³anno
A+	$EP_{tot} < 25$	-
A	$EP_{tot} < 40$	$EP_{tot} < 8$
B	$40 < EP_{tot} < 60$	$8 < EP_{tot} < 16$
C	$60 < EP_{tot} < 90$	$16 < EP_{tot} < 30$
D	$90 < EP_{tot} < 130$	$30 < EP_{tot} < 44$
E	$130 < EP_{tot} < 170$	$44 < EP_{tot} < 60$
F	$170 < EP_{tot} < 210$	$60 < EP_{tot} < 80$
G	$EP_{tot} > 210$	$EP_{tot} > 80$

Tabella 2 – Classi di prestazione energetica

	Gradi-giorno
A	< 600
B	600 - 900
C	900 - 1400
D	1400 - 2100
E	2100 - 3000
F	> 3000

Tabella 3 – Zone climatiche, in base ai gradi-giorno

2.3.3. Normativa energetica in Emilia-Romagna

La prima importante legge in materia energetica, promulgata dalla regione Emilia Romagna, è la L.R. 26/04, che promuove lo sviluppo sostenibile del sistema energetico regionale, garantendo che vi sia una corrispondenza tra l'energia prodotta, il suo uso razionale e la capacità di carico del territorio e dell'ambiente: in particolare vengono fissate le competenze degli enti e dei gestori coinvolti nel processo di distribuzione e vengono proposti dei criteri per favorire l'uso razionale delle risorse energetiche e lo sviluppo di fonti energetiche rinnovabili e per valorizzare l'energia recuperabile da impianti e sistemi.

A seguito del recepimento italiano della Direttiva europea 2002/91/CE, col D.Lgs 192/05, e prima della promulgazione delle Linee Guida col DM del 26/06/2009, l'Emilia Romagna adotta un proprio regolamento attuativo con la Delibera dell'Assemblea Legislativa n.156 del 04/03/2008. Tale delibera definisce le metodologie per valutare le prestazioni energetiche degli edifici e degli impianti energetici, la creazione di un sistema di accreditamento degli operatori preposti alla certificazione energetica degli edifici e le modalità di rilascio degli attestati di certificazione; inoltre incrementa i requisiti prestazionali minimi degli edifici (rispetto alla normativa nazionale), abbassando i limiti di trasmittanza delle pareti e i valori limite di EP e aumentando la copertura dei consumi di energia primaria con fonti di energia rinnovabili.

La DAL 156/08 viene successivamente aggiornata dal DGR 1362/2010, secondo quanto previsto dal DPR 59/2009 (requisiti minimi nazionali), correggendo il limite dell'indice di prestazione per l'acqua calda sanitaria (EP_{acs}), introducendo il limite dell'indice di prestazione per la climatizzazione estiva (EP_e) e aggiornando il requisito finalizzato alla prevenzione del surriscaldamento, introducendo prescrizioni sulla trasmittanza termica periodica. Inoltre si prevedono sistemi compensativi alternativi per coprire la quota parte obbligatoria di energia prodotta da fonti energetiche rinnovabili per la produzione di acqua calda sanitaria, permettendo il ricorso ad altri sistemi più efficienti, come il teleriscaldamento o gli impianti di micro - cogenerazione.

Successivamente, il DGR 1366/2011 introduce l'obbligo, per tutte le categorie di edifici, di prevedere, in sede progettuale, l'utilizzo di fonti rinnovabili a copertura di quota parte dei consumi di energia termica degli edifici.

Nel novembre 2007, la Regione approva il Piano Energetico Regionale (PER), che definisce lo scenario evolutivo del sistema energetico regionale (offerta e consumo di energia) al 2015, gli obiettivi di sviluppo sostenibile del sistema energetico regionale, gli indirizzi programmatici e le linee di intervento prioritarie, alle quali legare gli interventi di Regione ed Enti locali in attuazione della L.R. n. 26/04, e l'attivazione del Fondo per l'attuazione dei programmi di intervento. Il PER

viene attuato attraverso programmi triennali approvati dell'Assemblea Legislativa regionale e programmi annuali di intervento approvati dalla Giunta Regionale.

2.3.4. Norme UNI per le metodologie di calcolo

Nonostante la normativa italiana deleghi alle Regioni le competenze in materia energetica, per fornire univocità di valori e per consentire la riproducibilità e il confronto dei risultati, le metodologie per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici sono state unificate a livello nazionale mediante la specifica tecnica UNI/TS 11300, costituita da quattro parti pubblicate a partire dal 28/05/2008 ed elaborate dal Comitato Termotecnico italiano (CTI). Di seguito si riportano i titoli delle versioni pubblicate più recentemente:

- UNI/TS 11300-1: 2014 "Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale";
- UNI TS 11300-2: 2014 "Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali";
- UNI TS 11300-3: 2010 "Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva";
- UNI TS 11300-4: 2012 "Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria".

Capitolo 3 - Materiali e metodi

3.1. Area studio

Ai fini di questo studio si è assunto a riferimento il territorio ed il sistema costruito del Nuovo Circondario Imolese, un ente pubblico costituito dall'associazione di dieci comuni del territorio e nato a seguito della Legge Regionale 24 marzo 2004 n. 6 (Riforma del sistema amministrativo regionale e locale. Unione Europea e relazioni internazionali. Innovazione e semplificazione. Rapporti con l'Università); esso include i comuni di pianura di Medicina, Mordano e Castel Guelfo, i comuni con caratteristiche pedecollinari di Imola, Castel San Pietro Terme e Dozza, e i comuni della Vallata del Santerno (Casalfiumanese, Borgo Tossignano, Fontanelice e Castel del Rio). Qui l'attività rurale ha svolto e svolge tuttora un ruolo rilevante, sia per l'estensione di superficie agricola utilizzata e sia per il livello economico raggiunto, con una conseguente diffusione del patrimonio edilizio costruito (Tassinari et al. 2008) dedicato all'agricoltura. Il Nuovo Circondario Imolese risulta in particolare un areale rappresentativo, per vocazione ed espressione produttiva, del comparto vitivinicolo emiliano - romagnolo.

L'Emilia-Romagna, è la seconda regione, dopo il Veneto, per produzione enologica in Italia, con circa 800 000 t di uva raccolta in un anno, 56 000 ha di superficie coltivata a vigneti e 6 milioni di ettolitri annui di vino prodotto, di cui il 34% è vino da tavola, il 40% è IGT e il restante 26% è DOC o DOCG. Tra le singole province della regione, la produzione è distribuita in modo disomogeneo, ma la provincia di Bologna è quella che si avvicina di più alle medie regionali, in termini di superficie coltivata, uva raccolta e vino prodotto.

In particolare, nel Nuovo Circondario Imolese, che occupa il 21% del territorio provinciale bolognese (787 km²), si concentrano il 55% di superficie vitata, il 95% della produzione IGT e il 75% della produzione DOC.

Come descritto da numerose ricerche già condotte nell'area (Tassinari et al. 2008, 2010), il territorio del NCI è caratterizzato da altimetria decrescente da sud-ovest a nord-est: il 46% è costituito da pianura, il 38% da zona pedecollinare, il 15% da piena collina e l'1% da zona pedemontana, con quote massime inferiori ai 900 m slm. Il territorio è caratterizzato da un esteso sistema di terrazzi alluvionali connessi con i principali corsi idrici. Sul territorio sono inoltre leggibili numerosi segni di preesistenze antropiche, prevalentemente riconducibili al sistema della centuriazione romana, alla viabilità storica sviluppatasi lungo la via Emilia, al sistema dei canali e agli edifici di interesse storico rurali e urbani.

Il paesaggio agrario risulta piuttosto frammentato e diversificato, caratterizzato dalla compresenza di vigneti, aree a seminativo e a frutteto e, soprattutto nelle zone collinari, aree boscate e terreni incolti. I vigneti sono quindi presenti in maniera sporadica o comunque non predominante sulla maggior parte territorio. Le zone adibite a vigneto, inoltre, inizialmente caratterizzate da piantate di

tutori vivi per la coltivazione della vite (tra cui olmi e gelsi), da metà del secolo sono andate trasformandosi, con la diffusione della meccanizzazione nei processi legati alla viticoltura, vedendo la graduale sostituzione delle piantate con i seminativi in monocoltura. Attualmente appaiono quindi come una distesa di filari ad altezza e distanze regolari e tali da permettere le operazioni meccanizzate a ridosso delle piante.

Nell'ambito del progetto di ricerca nazionale PRIN-MIUR 2007 "Criteri di analisi e progettazione integrata nell'industria agroalimentare" (Sangiorgi and Dioguardi 2011), il gruppo di ricerca dell'unità operativa di Bologna ha ulteriormente approfondito lo studio di questo territorio, al fine di comprendere l'influenza delle componenti ambientali, costruttive e gestionali sulla qualità degli alimenti, la sicurezza e il benessere dell'uomo e dell'ambiente, concentrandosi, in particolare, sullo studio di nuovi approcci metodologici nella progettazione edilizia per le aziende vitivinicole.

I dati raccolti mostrano la presenza di 146 aziende operanti nel settore della viticoltura, all'interno dell'area oggetto di studio, con produzioni annue comprese tra i 14 hl e 290 000 hl, di cui il 90% presenta una produzione inferiore ai 5 000 hl. Inoltre il 70% delle aziende ricadenti nell'ultima soglia ha una produzione inferiore ai 1 000 hl. Tali dati relativi all'area studio, ricalcano la situazione nazionale, che vede la predominanza, nel settore vinicolo, di aziende medio - piccole (771 000 aziende per una superficie vitata totale di 840 000 ha); da questa peculiarità del settore vinicolo italiano, che è comunque da anni uno dei primi al mondo nella produzione e nell'esportazione, deriva la scelta di incentrare il presente studio sulla rifunzionalizzazione di singoli fabbricati rurali, mediamente di dimensioni idonee ad ospitare locali destinabili al processo produttivo del vino, per aziende con produzioni inferiori ai 5 000 hl.

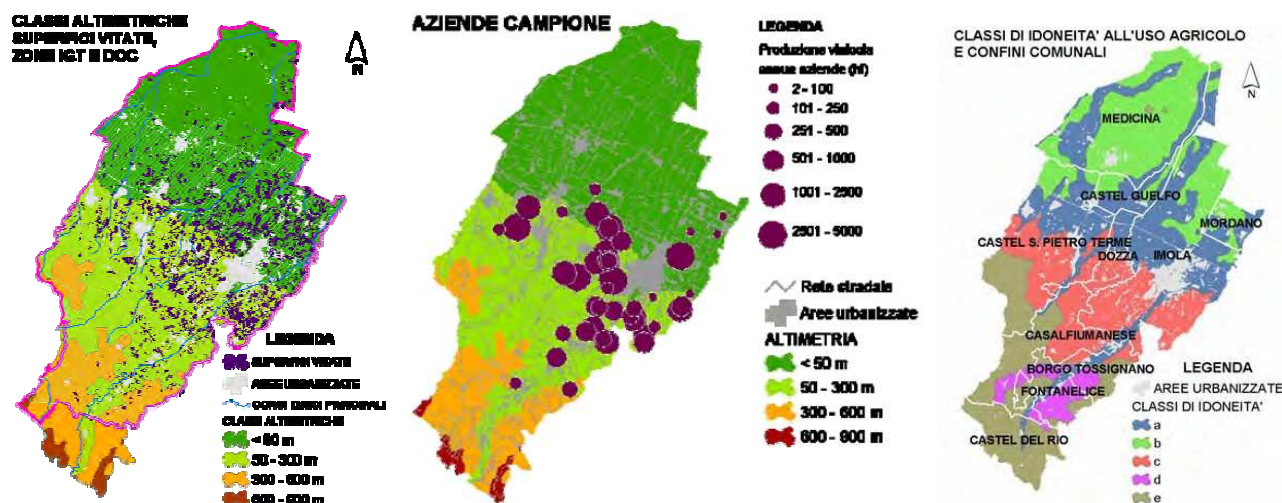


Figura 3 — Area studio: classi altimetriche, superfici vitate, zone IGT e DOC; aziende campione e relative produzioni; classe di idoneità all'uso agricolo e confini comunali

Ulteriori analisi sono state effettuate nella stessa area studio, per individuare una metodologia di analisi delle caratteristiche dimensionali dei fabbricati rurali tipici (Benni et al. 2012). Il campione studiato in questo ultimo caso, è composto da ottantatré fabbricati appartenenti a diciannove aziende: di queste, due sono localizzate in territorio di pianura (Mordano e Castel Guelfo), sei in zona collinare, nella vallata del Santerno (Casalfiumanese, Castel del Rio e Fontanelice), undici in zona di transizione pedecollinare (Imola, Castel San Pietro Terme, Dozza Imolese). Tra queste, solo cinque operano la trasformazione diretta delle uve, mentre le altre quattordici hanno una produzione incentrata prevalentemente sul seminativo e sull'allevamento, e, in minore misura, sulla viticoltura.

Ambito	Comune	Alt (m)	Cod. Azienda	Sup (ha)	Produzione
Pianura	Mordano	14	MO.01	4.69	Seminativo, frutti-viticoło
Pianura	Castel Guelfo	36	CG.01	15.39	Seminativo, colture protette, frutti-viticoło, ortive
Collina	Casalfiumanese	130	CF.01	70.40	Seminativo, allevamento, pascoli, frutti-viticoło
Collina	Casalfiumanese	390-410	CF.02	31.94	Selvicoltura, seminativo
Collina	Casalfiumanese	150	CF.03	15.27	Colture protette
Collina	Casalfiumanese	150-170	CF.04	12.00	Allevamento, frutti-viticoło, seminativo
Collina	Fontanelice	402	FO.01	33.31	Allevamento, seminativo
Collina	Dozza Imolese	48	DI.01	16.70	Seminativo, frutti-viticoło, ortive
Collina	Dozza Imolese	42	DI.02	79.59	Vigneti, cantina
Collina	Castel del Rio	42	CR.01	41.00	Prati - pascoli, seminativo
Transizione	Imola	270-285	IM.01	7.08	Vigneto, cantina
Transizione	Imola	275-280	IM.02	13.00	Seminativo
Transizione	Imola	26	IM.03	6.40	Frutti - viticoło
Transizione	Imola	250	IM.04	21.22	Vigneti, cantina
Transizione	Imola	173	IM.05	44.68	Vigneti, cantina
Transizione	Imola	72	IM.06	54.48	Vigneti, cantina
Transizione	Castel San Pietro Terme	47	CP.01	8.60	Seminativo, ortive, frutti-viticoło
Transizione	Castel San Pietro Terme	150	CP.02	112.70	Allevamento, seminativo, pascoli, frutti-viticoło
Transizione	Castel San Pietro Terme	150	CP.03	38.30	Allevamento, seminativo, pascoli, selvicoltura

Tabella 4 – Campione di aziende

All'interno di quest'ultimo campione sono stati selezionati i singoli casi studio oggetto della presente ricerca.

3.2. I casi studio

All'interno del campione di diciannove aziende, citato nel paragrafo precedente, sono stati individuati quei fabbricati, non necessariamente già utilizzati all'interno del processo vitivinicolo, che presentassero però caratteristiche idonee ad una eventuale rifunzionalizzazione in magazzino per la conservazione del vino, nell'ottica di convertire le aziende, attualmente impegnate nella sola produzione di uva, in aziende operanti anche la produzione e l'eventuale vendita di vino.

Per il presente studio, si è scelto di analizzare i fabbricati di recente costruzione (a partire dagli anni '50 del '900). Tra questi, sono stati selezionati i soli fabbricati monopiano, ritenuti più idonei a consentire il facile accesso del prodotto e la sua movimentazione. Sono stati quindi individuati quattro casi studio, caratterizzati da dimensioni, rapporti illuminanti e materiali dell'involucro differenti, in modo da ottenere un campione rappresentativo, pur limitando il numero dei casi:

- FABBRICATO 1 presso l'azienda MO.01 a Mordano
- FABBRICATO 2 presso l'azienda MO.01 a Mordano
- FABBRICATO 3 presso l'azienda CP.01 a Castel San Pietro Terme
- FABBRICATO 4 presso l'azienda DI.02 a Dozza Imolese (Azienda Agricola Branchini)

I fabbricati individuati fanno tutti parte di complessi più ampi (in particolare i fabbricati 1 e 2 rientrano nello stesso complesso e sono oltretutto adiacenti). Ai fini del presente lavoro, tali strutture sono state però utilizzate unicamente come esempio di architetture rurali tipiche; per questo motivo, nell'applicazione delle ipotesi energeticamente migliorative, essi sono stati considerati come quattro fabbricati distinti e isolati, trascurando le condizioni al contorno al fine di generalizzare il più possibile i risultati, evitando di legarli a un contesto troppo specifico. Per lo stesso motivo, in alcuni casi i fabbricati sono stati semplificati, tralasciandone gli elementi non tipici e non ricorrenti nella maggior parte delle architetture rurali della zona.

Tra i quattro casi studi analizzati, il fabbricato 4 è l'unico attualmente utilizzato come magazzino per il vino in bottiglia. Essendo stato ristrutturato a questo scopo in epoca recente (2006), presenta caratteristiche costruttive progettate per la conservazione del vino, a differenza dei primi tre casi studio. Per questo motivo, nell'analisi dei risultati, il fabbricato 4 verrà spesso utilizzato come elemento di riferimento.

3.2.1. Azienda MO.01



Figura 4 – Azienda MO.01

L'azienda MO.01 si trova nel comune di Mordano, a 14.50 m di altitudine, in zona di pianura. L'azienda dispone di una superficie complessiva di circa 4.7 ettari, utilizzata principalmente per viticoltura (2.29 ha) e seminativo di pieno campo (1.20 ha). Il complesso è costituito da tre fabbricati, di cui un'abitazione del 1968, a due piani, un magazzino del 1971 in muratura e un secondo magazzino del 1997, con struttura in acciaio e tamponamenti in muratura. I due magazzini, oggetto del presente studio e di seguito descritti più dettagliatamente, sono affiancati e comunicanti mediante una porta interna. Il secondo magazzino è inoltre collegato all'abitazione mediante un portico con struttura in acciaio e copertura in lamiera.

3.2.1.1. Azienda MO.01 – Fabbricato 1



Figura 5 – Fabbricato 1 - esterno



Figura 6 – Fabbricato 1 - interno

Il primo fabbricato, costruito nel 1971, presenta una pianta rettangolare, 9.70 x 10.50 m, e una copertura a falde inclinate, per un'altezza pari a 3.30 m in mezzeria e 2.80 m ai lati, per un volume complessivo di 311 m³. Essendo suddiviso internamente da una partizione verticale in mattoni, posta longitudinalmente (che non verrà considerata nelle analisi successive in quanto, in caso di trasformazione del locale in deposito per la conservazione del vino, risulterebbe poco funzionale), l'edificio presenta due ingressi sul lato corto disposto a sud-sud-ovest: il primo, a sinistra, di dimensioni 340x240 cm (base per altezza); il secondo, a destra, di dimensioni 250x240 cm. Sono

inoltre presenti quattro finestre, 80x70 cm, di cui una sul lato est-sud-est, una sul lato ovest-nord-ovest e due sul lato nord-nord-est, che comportano un rapporto illuminante del locale pari a 0.02. Una porta interna, sul lato ovest-nord-ovest, collega il locale al secondo magazzino, adiacente (fabbricato 2). I muri perimetrali dell'edificio sono in muratura piena a due teste; la copertura è realizzata con travi in acciaio, tavelle e lamiera.

Di seguito (Tabella 5 - Tabella 6), si riportano i calcoli per l'ottenimento dei valori di trasmittanza di parete e di copertura del fabbricato. Dall'analisi dei valori ottenuti, risulta che l'involucro del fabbricato 1 non rispetta i limiti di trasmittanza imposti dal Decreto 26 gennaio 2010 (Aggiornamento del Decreto 11 marzo 2008) per i locali climatizzati in zona climatica E, in cui rientra l'area di studio, pari a $0.34 \text{ W/m}^2\text{K}$ per le strutture opache verticali e $0.30 \text{ W/m}^2\text{K}$ per le strutture opache orizzontali di copertura.

FABBRICATO 1 - SCENARIO A* - parete in mattoni pieni 2 teste					
Descrizione materiale	D (kg/m ³)	λ (mK/W)	C(J/kgK)	s (cm)	r (m ² K/W)
Strato liminare interno					0.130
1 Mattone pieno	1600	0.700	830	12.0	0.171
2 Malta di cemento	2200	1.400	900	1.0	0.007
3 Mattone pieno	1600	0.700	830	12.0	0.171
Strato liminare esterno					0.040
TOTALE:	0			25.0	0.520
Trasmittanza				W/(m ² K)	1.92

* Lo scenario A corrisponde allo stato di fatto (vedi paragrafo 3.3.2.)

Tabella 5 – Calcolo della trasmittanza di parete: Fabbricato 1 – Scenario A

FABBRICATO 1 - SCENARIO A* - copertura in tavelle e lamiera					
Descrizione materiale	D (kg/m ³)	λ (mK/W)	C(J/kgK)	s (cm)	r (m ² K/W)
Strato liminare interno					0.170
1 Tavella	1800	0.720	1000	4.0	0.056
2 Lamiera	7850	60	450	0.2	0.000
Strato liminare esterno					0.040
TOTALE:	0			4.2	0.266
Trasmittanza				W/(m ² K)	3.77

* Lo scenario A corrisponde allo stato di fatto (vedi paragrafo 3.3.2.)

Tabella 6 – Calcolo della trasmittanza di copertura: Fabbricato 1 – Scenario A

3.2.1.2. Azienda MO.01 – Fabbricato 2



Figura 7 – Fabbricato 2 - esterno



Figura 8 – Fabbricato 2 – interno

Il secondo fabbricato è di costruzione più recente (1997). Adiacente al primo e collegato all'abitazione mediante un portico, presenta una pianta rettangolare, 8.50 x 10.00 m, e una copertura a falde inclinate, per un'altezza pari a 3.70 m in mezzeria e 3.00 m ai lati, per un volume complessivo di 285 m³. Sono presenti tre porte, una di collegamento al magazzino adiacente, una lato portico 80x210 cm e una principale per i macchinari agricoli, lato sud-sud-ovest, di dimensioni 400 x 270 cm; è inoltre presente una finestra a nastro 800 x 80 cm (altezza bancale 120 cm) sul lato opposto. Il rapporto ventilante del locale è pari a 0.08.

La struttura del fabbricato è in travi e pilastri in acciaio, con tamponamenti in muratura piena; la copertura è in travi in acciaio e lamiera.

Di seguito si riportano i calcoli relativi alla trasmittanza di parete e di copertura del fabbricato (Tabella 7 - Tabella 8). Anche in questo caso, l'involucro edilizio presenta valori di trasmittanza superiori a quelli limite indicati dalla normativa, pari a 0.34 W/m²K per le strutture opache verticali e 0.30 W/m²K per le strutture opache orizzontali di copertura.

FABBRICATO 2 - SCENARIO A* - tamponatura in mattoni					
Descrizione materiale	D (kg/m ³)	λ (mK/W)	C(J/kgK)	s (cm)	r (m ² K/W)
Strato liminare interno					0.130
1 Mattone pieno	1600	0.700	830	12.0	0.171
Strato liminare esterno					0.040
TOTALE:	0			12.0	0.341
Trasmittanza				W/(m ² K)	2.93

* Lo scenario A corrisponde allo stato di fatto (vedi paragrafo 3.3.2.)

FABBRICATO 2 - SCENARIO A* - struttura in acciaio					
Descrizione materiale	D (kg/m ³)	λ (mK/W)	C(J/kgK)	s (cm)	r (m ² K/W)
Strato liminare interno					0.130
1 Acciaio	7850	60.000	450	15.0	0.003
Strato liminare esterno					0.040
TOTALE:	0			15.0	0.173
Trasmittanza				W/(m ² K)	5.80

* Lo scenario A corrisponde allo stato di fatto (vedi paragrafo 3.3.2.)

Tabella 7 – Calcolo della trasmittanza di parete: Fabbricato 2 – Scenario A

FABBRICATO 2 - SCENARIO A* - lamiera					
Descrizione materiale	D (kg/m ³)	λ (mK/W)	C(J/kgK)	s (cm)	r (m ² K/W)
Strato liminare interno					0.170
1 Lamiera	7850	60	450	0.2	0.000
Strato liminare esterno					0.040
TOTALE:	0			0.2	0.210
Trasmittanza				W/(m ² K)	4.76

* Lo scenario A corrisponde allo stato di fatto (vedi paragrafo 3.3.2.)

Tabella 8 – Calcolo della trasmittanza di copertura: Fabbricato 2 – Scenario A

3.2.2. Azienda CP.01



Figura 9 – Azienda CP.01

L'azienda CP.01 si trova nel comune di Castel San Pietro Terme, a 47 m di altitudine, in zona pedecollinare. L'azienda dispone di una superficie complessiva di circa 22 ettari, prevalentemente

adibita a seminativo di pieno campo (13.3 ha). Il complesso è costituito da quattro fabbricati: un'abitazione a due piani di epoca recente, un edificio a due piani adibito ad abitazione e magazzino, un deposito di nuova costruzione e un'abitazione ricavata da un ex-fienile.

3.2.2.1. Azienda CP.01 – Fabbricato 3



Figura 10 – Fabbricato 3

Il fabbricato ad uso magazzino dell'azienda CP.01, realizzato in cls prefabbricato, è di epoca molto recente (anni 2000). Presenta una pianta rettangolare di dimensioni 12.00 x 25.00 m, una copertura a falde inclinate costituita da tavelle, uno strato da 10 cm di isolante (polistirene espanso) e coppi, un ingresso 540x490 cm e due finestre 100x150 cm (altezza bancale 155 cm) sul lato sud, una serie di finestre a nastro per complessivi 2 400x100 cm (altezza bancale 390 cm) sul lato est e un secondo ingresso 466x390 cm sul lato ovest, sormontato da una finestra 466x100 cm. Il fabbricato ha un'altezza variabile tra i 5.00 m e i 6.80 m, per un volume complessivo di 1770 m³. Il rapporto illuminante del locale è pari a 0.17.

Di seguito si riportano i calcoli della trasmittanza di parete e di copertura del fabbricato (Tabella 9 - Tabella 10. Anche in questo caso, l'involucro edilizio presenta valori di trasmittanza superiori a quelli limite indicati dalla normativa, pari a 0.34 W/m²K per le strutture opache verticali e 0.30 W/m²K per le strutture opache orizzontali di copertura.

FABBRICATO 3 - SCENARIO A* - parete in pannelli prefabbricati in cls					
Descrizione materiale	D (kg/m ³)	λ (mK/W)	C(J/kgK)	s (cm)	r (m ² K/W)
Strato liminare interno					0.130
1 CLS	2400	1.800	850	5.0	0.028
2 CLS alleggerito	1100	0.450	1100	5.0	0.111
Strato liminare esterno					0.040
TOTALE:	0			10.0	0.309
Trasmittanza				W/(m ² K)	3.24

* Lo scenario A corrisponde allo stato di fatto (vedi paragrafo 3.3.2.)

Tabella 9 – Calcolo della trasmittanza di parete: Fabbricato 3 – Scenario A

FABBRICATO 3 - SCENARIO A* - copertura in tavelle e coppi					
Descrizione materiale	D (kg/m ³)	λ (mK/W)	C(J/kgK)	s (cm)	r (m ² K/W)
Strato liminare interno					0.170
1 Tavella	1800	0.720	1000	4.0	0.056
2 Coppi	1800	1.430	840	7.0	0.049
Strato liminare esterno					0.040
TOTALE:	0			11.0	0.315
Trasmittanza				W/(m ² K)	3.18

* Lo scenario A corrisponde allo stato di fatto (vedi paragrafo 3.3.2.)

Tabella 10 – Calcolo della trasmittanza di copertura: Fabbricato 3 – Scenario A

3.2.3. Azienda DI.02



Figura 11 – Azienda DI.02

L'azienda Branchini (ID.02) si trova nel comune di Dozza Imolese, a 42 m di altitudine. Dispone di una superficie di circa 80 ha, di cui 20 ha a vigneto. L'azienda trasforma annualmente circa 2 000 quintali di uva e produce dai 1 400 ai 2 200 hl di vino annui, tra bianchi, rossi e passiti, di cui 500 hl vengono imbottigliati esternamente e il resto viene venduto sfuso. Il complesso è costituito da

quattro edifici: l'edificio principale in muratura, che ospita l'abitazione dei proprietari, l'ufficio, uno spazio per la degustazione e un locale interrato ad uso barricaia; un magazzino per il vino imbottigliato, ristrutturato nel 2006, dotato di impianto di climatizzazione; un capannone del 1968 per la vinificazione e lo stoccaggio; un piccolo fabbricato di servizio in muratura, con spogliatoi, servizi igienici e docce per gli addetti.

3.2.3.1. Azienda ID.02 – Fabbricato 4



Figura 12 – Fabbricato 4 - esterno

Il fabbricato, interamente fuori terra, presenta una pianta rettangolare 6.00x11.00 m, una copertura a falde inclinate e un'altezza di 4.50 m al colmo e 3.25 m ai lati, per un volume complessivo di 256 m³. Sprovisto di finestre, è dotato di un'unica apertura: una porta sul lato nord, di dimensioni 300x300 cm. La struttura è costituita da un telaio in acciaio, completamente rivestito da un involucro costituito da uno strato di circa 15 cm di muratura forata, intonacato internamente e rivestito esternamente da circa 10 cm di materiale isolante (polistirene espanso), a loro volta ricoperti da uno strato di listelli in legno, dello spessore di 2 cm, per un totale di 28 cm. La copertura è in coppi ed è isolata internamente da uno strato di 12 cm di polistirene espanso. Il solaio di calpestio è in cemento. All'interno del locale è inoltre presente un impianto di climatizzazione.

Come descritto in precedenza, questo è l'unico dei quattro fabbricati oggetto di studio ad essere già utilizzato attualmente come magazzino per la conservazione del vino in bottiglia e presenta infatti un involucro molto più idoneo a garantire le condizioni di comfort per una corretta conservazione del vino, rispetto agli altri tre casi studio (cappotto esterno in parete, isolamento in copertura, assenza di finestre). Ciò è visibile anche dai valori della trasmittanza di parete (Tabella 11) e di copertura (Tabella 12), che risultano entro i limiti imposti dalla normativa solo per il fabbricato 4 (0.34 W/m²K per le strutture opache verticali e 0.30 W/m²K per le strutture opache orizzontali di copertura).

FABBRICATO 4 - SCENARIO A - parete in forato + cappotto sp.10 cm + legno					
Descrizione materiale	D (kg/m ³)	λ (mK/W)	C(J/kgK)	s (cm)	r (m ² K/W)
Strato liminare interno					0.130
1 Intonaco di calce-cemento	1800	1.000	900	1.0	0.010
2 Matt. Forato	1200	0.360	830	15.0	0.417
3 Polistirene espanso	20	0.040	1350	10.0	2.500
4 Legno	500	0.130	1650	2.0	0.154
Strato liminare esterno					0.040
TOTALE:	210			28	3.251
Trasmittanza				W/(m ² K)	0.31

* Lo scenario A corrisponde allo stato di fatto (vedi paragrafo 3.3.2.)

Tabella 11 – Calcolo della trasmittanza di parete: Fabbricato 4 – Scenario A

FABBRICATO 4 - SCENARIO A - copertura in forato + cappotto sp.10 cm + legno					
Descrizione materiale	D (kg/m ³)	λ (mK/W)	C(J/kgK)	s (cm)	r (m ² K/W)
Strato liminare interno					0.170
1 Tavella	1800	0.720	1000	4.0	0.056
2 Polistirene espanso	20	0.040	1350	12.0	3.000
3 Coppi	1800	1.430	840	7.0	0.049
Strato liminare esterno					0.040
TOTALE:	200.4			23	3.315
Trasmittanza				W/(m ² K)	0.30

* Lo scenario A corrisponde allo stato di fatto (vedi paragrafo 3.3.2.)

Tabella 12 – Calcolo della trasmittanza di copertura: Fabbricato 4 – Scenario A

3.3. Definizione degli interventi e degli scenari progettuali di riqualificazione

3.3.1. Definizione degli interventi

Ai fini di ridurre i consumi elettrici, in presenza di impianti di controllo termico, o di mantenere la temperatura all'interno degli intervalli di comfort per una corretta conservazione del vino, anche in assenza di impianti, molteplici sono i possibili interventi migliorativi applicabili al fabbricato. Nel presente studio, vengono considerate tre strategie di intervento di riconosciuta efficacia, applicabili alla tipologia funzionale in esame secondo modalità operative ampiamente consolidate nel settore delle costruzioni:

- isolamento a cappotto delle pareti esterne (che verrà applicato negli scenari B ed E, come descritto nel paragrafo 3.3.2.);
- ombreggiatura esterna (applicata negli scenari C ed E);

- isolamento della copertura (applicato negli scenari D ed E).

3.3.1.1. Isolamento a cappotto delle pareti esterne

L'isolamento a cappotto delle pareti esterne ipotizzato è costituito da pannelli intonacati in polistirene espanso dello spessore di 12 cm, densità pari a 20 kg/m^3 , calore specifico pari a 1350 J/kgK e conduttività pari a 0.04 W/mK , addossati esternamente alle quattro pareti perimetrali. Ai fini del presente studio, si è scelto di non applicare alcun intervento migliorativo alle aperture (porte e finestre), per ottenere dei risultati più chiari relativi all'apporto del solo cappotto in parete.



Figura 13 – Pannelli di polistirene espanso



Figura 14 – Applicazione di pannelli di polistirene espanso su parete in muratura

Le caratteristiche del cappotto sono state definite in modo da ottenere un pacchetto murario che garantisca una trasmittanza termica inferiore o uguale alla trasmittanza limite indicata dal Decreto 26 gennaio 2010 (Aggiornamento del Decreto 11 marzo 2008) per le strutture opache verticali dei locali climatizzati, che in zona climatica E, in cui rientra l'area di studio, è pari a 0,34.

Di seguito si riporta il calcolo della trasmittanza delle pareti perimetrali dei quattro casi studio (da Tabella 13 a Tabella 16), prevedendo la presenza del cappotto in polistirene espanso, da 12 cm di spessore. Come si può notare dai dati riportati, il cappotto porta i limiti di trasmittanza dei fabbricati 1, 2 e 3 entro i limiti di legge. Il fabbricato 4 aveva già una trasmittanza a norma, che però risulta migliorata ulteriormente dall'ispessimento del cappotto esistente da 10 a 12 cm.

FABBRICATO 1 - SCENARIO B - parete in mattoni pieni 2 teste + cappotto

Descrizione materiale	D (kg/m ³)	λ (mK/W)	C(J/kgK)	s (cm)	r (m ² K/W)
Strato liminare interno					0.130
1 Mattone pieno	1600	0.700	830	12.0	0.171
2 Malta di cemento	2200	1.400	900	1.0	0.007
3 Mattone pieno	1600	0.700	830	12.0	0.171
4 Polistirene espanso	20	0.040	1350	12.0	3.000
5 Intonaco di calce-cemento	1800	1.000	900	1.0	0.010
Strato liminare esterno					0.040
TOTALE:	0			38.0	3.530
Trasmittanza				W/(m ² K)	0.28

Tabella 13 – Calcolo della trasmittanza di parete: Fabbricato 1 – Scenario B**FABBRICATO 2 - SCENARIO B - tamponatura in mattoni + cappotto**

Descrizione materiale	D (kg/m ³)	λ (mK/W)	C(J/kgK)	s (cm)	r (m ² K/W)
Strato liminare interno					0.130
1 Mattone pieno	1600	0.700	830	12.0	0.171
2 Polistirene espanso	20	0.040	1350	12.0	3.000
3 Intonaco di calce-cemento	1800	1.000	900	1.0	0.010
Strato liminare esterno					0.040
TOTALE:	0			25.0	3.351
Trasmittanza				W/(m ² K)	0.30

FABBRICATO 2 - SCENARIO B - struttura in acciaio + cappotto

Descrizione materiale	D (kg/m ³)	λ (mK/W)	C(J/kgK)	s (cm)	r (m ² K/W)
Strato liminare interno					0.130
1 Acciaio	7850	60.000	450	15.0	0.003
2 Polistirene espanso	20	0.040	1350	12.0	3.000
3 Intonaco di calce-cemento	1800	1.000	900	1.0	0.010
Strato liminare esterno					0.040
TOTALE:	0			28.0	3.183
Trasmittanza				W/(m ² K)	0.31

Tabella 14 – Calcolo della trasmittanza di parete: Fabbricato 2 – Scenario B**FABBRICATO 3 - SCENARIO B - parete in pannelli prefabbricati in cls + cappotto**

Descrizione materiale	D (kg/m ³)	λ (mK/W)	C(J/kgK)	s (cm)	r (m ² K/W)
Strato liminare interno					0.130
1 CLS	2400	1.800	850	5.0	0.028
2 CLS alleggerito	1100	0.450	1100	5.0	0.111
3 Polistirene espanso	20	0.040	1350	12.0	3.000
4 Intonaco di calce-cemento	1800	1.000	900	1.0	0.010
Strato liminare esterno					0.040
TOTALE:	0			23.0	3.319
Trasmittanza				W/(m ² K)	0.30

Tabella 15 – Calcolo della trasmittanza di parete: Fabbricato 3 – Scenario B

FABBRICATO 4 - SCENARIO B - parete in forato + cappotto sp.12 cm + legno					
Descrizione materiale	D (kg/m ³)	λ (mK/W)	C(J/kgK)	s (cm)	r (m ² K/W)
Strato liminare interno					0.130
1 Intonaco di calce-cemento	1800	1.000	900	1.0	0.010
2 Matt. Forato	1200	0.360	830	15.0	0.417
3 Polistirene espanso	20	0.040	1350	12.0	3.000
4 Legno	500	0.130	1650	2.0	0.154
Strato liminare esterno					0.040
TOTALE:	210.4			30	3.751
Trasmittanza				W/(m ² K)	0.27

Tabella 16 – Calcolo della trasmittanza di parete: Fabbricato 4 – Scenario B

3.3.1.2. Ombreggiatura esterna

L'ombreggiatura esterna ipotizzata è costituita da una parete verde in rampicanti di vite, posizionata sul lato ovest dell'edificio, che risulta essere il lato più soggetto ad innalzamenti di temperatura (Zevi 2006). La struttura schermante prevista per ogni caso studio è lunga quanto la parete da schermare, alta un metro in più dell'altezza massima dell'edificio, e distante dal fabbricato 1.50 m, in modo da consentire il passaggio di persone e merci su piccoli carrelli, nel corridoio tra il fabbricato e la schermatura.



Figura 15 – Esempio di schermatura verde distanziata dal fabbricato



Figura 16 – Rivestimento in rampicanti di vite americana

Nei quattro casi analizzati, considerati come fabbricati distinti e isolati, il lato ovest coincide sempre con un lato lungo, privo di porte di ingresso principali, per cui la presenza della struttura che funge

da ombreggiatura non rappresenta un ostacolo alla movimentazione di merce e grossi macchinari in ingresso o in uscita dal fabbricato. La stessa schermatura è comunque applicabile anche in casi differenti, valutandone la conformazione geometrica e la posizione, caso per caso, in fase progettuale.

La scelta di realizzare l'ombreggiatura in foglie di vite ricalca la volontà di utilizzare materiali biologici, facilmente reperibili dall'azienda ed esteticamente compatibili con la funzione del fabbricato. Inoltre, rispetto ad un'ombreggiatura realizzata con una struttura opaca totalmente schermante per tutto l'anno, la soluzione scelta, oltre a garantire un idoneo raffrescamento d'estate, migliorato ulteriormente dalla maggiore ventilazione (che risulta invece limitata nel caso di schermatura totale), consente inoltre un maggiore afflusso di raggi solari sulla parete del fabbricato in inverno, quando le foglie di vite sono cadute, contrastando l'eccessivo abbassamento della temperatura interna nei periodi freddi, senza dover ricorrere allo smontaggio e alla temporanea dismissione della struttura.

3.3.1.3. Isolamento della copertura

L'isolamento della copertura ipotizzato consiste in pannelli di fibra di legno, dello spessore di 12 cm, densità pari a 160 kg/m^3 , calore specifico pari a 2100 J/kgK e conduttività pari a 0.039 W/mK , posati al di sotto del manto di copertura.



Figura 17 – Pannelli in fibra di legno



Figura 18 – Applicazione di pannelli in fibra di legno all'intradosso di una copertura lignea

Anche in questo caso, la scelta rientra nella volontà di utilizzare il più possibile materiali ecocompatibili e comunque di facile reperibilità sul mercato. Le caratteristiche del materiale utilizzato sono inoltre state definite in modo da ottenere un pacchetto di copertura che garantisca una trasmittanza termica inferiore o uguale alla trasmittanza limite indicata dal Decreto 26 gennaio

2010 (Aggiornamento del Decreto 11 marzo 2008) per le strutture opache orizzontali di copertura dei locali climatizzati, che in zona climatica E, in cui rientra l'area di studio, è pari a 0.30.

Di seguito si riportano i calcoli della trasmittanza delle coperture dei quattro casi studio (da Tabella 17 a Tabella 20), prevedendo un isolamento in pannelli di fibra di legno, dalle caratteristiche precedentemente descritte. Come si può notare dai dati riportati, l'isolamento della copertura porta i limiti di trasmittanza dei fabbricati 1, 2 e 3 entro i limiti di legge. Il fabbricato 4 aveva già un valore di trasmittanza all'interno dei limiti normativi, il quale però risulta migliorato ulteriormente dalla sostituzione del polistirene espanso esistente con la fibra di legno di uguale spessore (12 cm).

FABBRICATO 1 - SCENARIO D - copertura in tavelle, fibra di legno e lamiera					
Descrizione materiale	D (kg/m ³)	λ (mK/W)	C(J/kgK)	s (cm)	r (m ² K/W)
Strato liminare interno					0.170
1 Tavella	1800	0.720	1000	4.0	0.056
2 Fibra di legno	160	0.039	2100	12.0	3.077
3 Lamiera	7850	60	450	0.2	0.000
Strato liminare esterno					0.040
TOTALE:	0			16.2	3.343
Trasmittanza				W/(m ² K)	0.30

Tabella 17 – Calcolo della trasmittanza di parete: Fabbricato 1 – Scenario D

FABBRICATO 2 - SCENARIO D - fibra di legno e lamiera					
Descrizione materiale	D (kg/m ³)	λ (mK/W)	C(J/kgK)	s (cm)	r (m ² K/W)
Strato liminare interno					0.170
1 Fibra di legno	160	0.039	2100	12.0	3.077
2 Lamiera	7850	60	450	0.2	0.000
Strato liminare esterno					0.040
TOTALE:	0			12.2	3.287
Trasmittanza				W/(m ² K)	0.30

Tabella 18 – Calcolo della trasmittanza di parete: Fabbricato 2 – Scenario D

FABBRICATO 3 - SCENARIO D - copertura in tavelle, fibra di legno e coppi					
Descrizione materiale	D (kg/m ³)	λ (mK/W)	C(J/kgK)	s (cm)	r (m ² K/W)
Strato liminare interno					0.170
1 Tavella	1800	0.720	1000	4.0	0.056
2 Fibra di legno	160	0.039	2100	12.0	3.077
3 Coppi	1800	1.430	840	7.0	0.049
Strato liminare esterno					0.040
TOTALE:	0			23.0	3.391
Trasmittanza				W/(m ² K)	0.29

Tabella 19 – Calcolo della trasmittanza di parete: Fabbricato 3 – Scenario D

FABBRICATO 4 - SCENARIO D - copertura + cappotto sp.12 cm + legno					
Descrizione materiale	D (kg/m ³)	λ (mK/W)	C(J/kgK)	s (cm)	$\frac{r}{(m^2K/W)}$
Strato liminare interno					0.170
1 Tavella	1800	0.720	1000	4.0	0.056
2 Fibra di legno	160	0.039	2100	12.0	3.077
3 Coppi	1800	1.430	840	7.0	0.049
Strato liminare esterno					0.040
TOTALE:	217.2			23	3.391
Trasmittanza				W/(m ² K)	0.29

Tabella 20 – Calcolo della trasmittanza di parete: Fabbricato 4 – Scenario D

3.3.2. Definizione degli scenari

Dalle combinazioni delle ipotesi illustrate, derivano cinque scenari (lo scenario coincidente con lo stato di fatto e quattro scenari progettuali di retrofit):

- Scenario A: stato di fatto
- Scenario B: stato di fatto con cappotto in parete da 12 cm, in polistirene espanso (aggiunto nei fabbricati 1, 2 e 3 e sostituito al cappotto esistente nel fabbricato 4)
- Scenario C: stato di fatto con schermatura verde sul lato ovest
- Scenario D: stato di fatto con isolamento in copertura da 12 cm, in fibra di legno (aggiunto nei fabbricati 1, 2 e 3 e sostituito all'isolamento esistente nel fabbricato 4)
- Scenario E: stato di fatto con cappotto in parete da 12 cm, schermatura verde sul lato ovest e isolamento in copertura in fibra di legno.

Gli scenari individuati permettono di quantificare l'apporto migliorativo dei diversi interventi, sia presi singolarmente, sia combinati tra loro.

3.4. Criteri e metodologia di analisi delle performance termiche ed energetiche

Per valutare e quantificare l'efficacia dei diversi interventi migliorativi, è stato innanzitutto individuato un intervallo di temperatura ritenuto idoneo alla conservazione della maggior parte delle tipologie di vini, sia bianchi che rossi. L'analisi della letteratura in materia (affrontata nel paragrafo 2.1.1.) suggerisce di non scendere al di sotto dei 10°C, affinché si verifichi una corretta fermentazione, ma soprattutto di non superare i 20°C, per evitare processi chimici che possono portare al deterioramento del vino: tra i 10°C e i 20°C, la temperatura può influenzare comunque la

conservazione in maniera percepibile dal consumatore, ma senza alterare la qualità del prodotto. La determinazione di un corretto intervallo di temperature in cui conservare il vino dipende quindi, oltre che dalla tipologia del vino, anche dal gusto del consumatore, che può essere conseguenza di abitudini consolidate nel tempo, tra cui quella di conservare il vino in locali interrati. Ciò fa presupporre che tale temperatura ideale sia prossima alla temperatura media annua del terreno. Ai fini del presente studio, è stata considerata una temperatura media annua del terreno pari a circa 15°C, rilevati attraverso il monitoraggio di uno dei casi studio (il numero 4) (Tinti et al. 2014). In accordo con gli studi di Vogt (vedi paragrafo 2.1.1.), a questa temperatura è stato associato un ΔT pari a $\pm 3^\circ\text{C}$, ottenendo così un intervallo di comfort termico del vino compreso tra 12°C e 18°C. Il metodo di seguito descritto risulta comunque ugualmente valido anche modificando tale intervallo, in base alle indicazioni eventualmente fornite da un enologo per specifiche tipologie di vino.

Mentre per la conservazione di vini di alta qualità risulta necessario l'utilizzo di un impianto di controllo termico, per poter garantire sempre l'intervallo di temperatura di comfort appena definito (12-18°C), per vini di qualità inferiore può invece essere possibile esimersi dall'utilizzo di impianti di riscaldamento o raffrescamento e riferirsi ad un intervallo di temperatura meno restrittivo, pur mantenendosi il più possibile entro i valori limite, al fine di evitare il deterioramento del prodotto (10-20°C).

Per ognuno dei cinque scenari individuati, applicati ai quattro casi studio, sono state quindi analizzate due situazioni:

- 1) escludendo la presenza di un impianto di controllo termico all'interno del locale (e considerando un intervallo di idoneità compreso tra i 10°C e i 20°C);
- 2) ipotizzando la presenza di un impianto di controllo termico all'interno del locale (con un intervallo di comfort compreso tra i 12°C e i 18°C) .

Scopo duplice dell'analisi è quello di individuare lo scenario che permette di mantenere nel tempo temperature interne comprese nell'intervallo di temperatura 10-20°C o il più possibile vicine agli estremi dell'intervallo, senza l'utilizzo di impianti di controllo termico e solo grazie all'architettura dell'edificio; parallelamente si individuerà lo scenario che minimizza il fabbisogno energetico dei singoli fabbricati, in presenza di impianti di controllo termico che mantengano la temperatura interna del locale compresa tra i 12°C e i 18°C.

Si procederà quindi al confronto dei dati ottenuti, raffrontando sia i quattro casi studio tra loro nelle diverse ipotesi di riqualificazione, sia le diverse ipotesi per i singoli casi studio, come meglio descritto in seguito.

3.4.1. Raggiungimento della temperatura di confort del vino in assenza di impianti di controllo termico

Mediante l'uso di un programma di simulazione termica energetica in regime dinamico (ampiamente descritto nel paragrafo 3.5.), per ogni scenario, sono state ricavate le temperature medie orarie dell'aria all'interno dei fabbricati per un periodo di un anno, ottenendo 8760 misurazioni. I risultati ottenuti sono stati confrontati con l'intervallo di temperature prestabilito per una corretta conservazione del vino (10-20°C), e sono stati individuati i valori eccedenti, (in eccesso o in difetto).

Il numero complessivo delle ore eccedenti può essere interpretato come un indicatore di "discomfort termico" in un anno (h_{disc}).

Per ogni ora di simulazione in cui la temperatura simulata non rientra nell'intervallo di comfort, è stato inoltre calcolato lo scarto tra la temperatura stessa (t_s) e l'estremo dell'intervallo di comfort ad essa più prossimo (t_{sup} e t_{inf}), distinguendo tra le misurazioni con $t_s > 20^\circ C$ e quelle con $t_s < 10^\circ C$:

$$s_{20} = t_s - t_{sup} \quad \text{Equazione 1}$$

se $t_s > 20^\circ C$, con $t_{sup} = 20^\circ C$

e

$$s_{10} = t_s - t_{inf} \quad \text{Equazione 2}$$

se $t_s < 10^\circ C$, con $t_{inf} = 10^\circ C$

ottenendo il valore della temperatura media di discomfort, calcolata quindi come media delle sole temperature in eccesso ($t_{media,20}$) o in difetto ($t_{media,10}$), e i corrispondenti scarti quadratici medi, calcolati sul totale delle ore di discomfort in eccesso e in difetto ($h_{disc,20}$ e $h_{disc,10}$):

$$t_{media,20} = \frac{\sum t_s}{h_{disc,20}}, \forall t_s > 20^\circ C \quad \text{Equazione 3}$$

$$t_{media,10} = \frac{\sum t_s}{h_{disc,10}}, \forall t_s < 10^\circ C \quad \text{Equazione 4}$$

$$\sigma_{20} = \sqrt{\frac{\sum s_{20}^2}{h_{disc,20}}} \quad \text{Equazione 5}$$

$$\sigma_{10} = \sqrt{\frac{\sum s_{10}^2}{h_{disc,10}}} \quad \text{Equazione 6}$$

Parallelamente, sono stati calcolati i valori complessivi del discomfort annuo (espresso in gradi ora) in eccesso (dh_{20}), in difetto (dh_{10}) e totale (dh_{tot}):

$$dh_{20} = \sum (t_s - t_{\text{sup}})$$

se $t_s > 20^\circ C$

Equazione 7

$$dh_{10} = \sum (t_s - t_{\text{inf}})$$

se $t_s < 10^\circ C$

Equazione 8

e

$$dh_{\text{tot}} = dh_{20} + dh_{10}$$

Equazione 9

Si è quindi proceduto all'analisi dei dati ottenuti, confrontando, per ogni singolo fabbricato, i diversi scenari e individuando quello più efficace, ai fini della riduzione dei parametri dh_{10} e dh_{20} ; inoltre sono stati messi a confronto i quattro casi studio per ogni scenario, analizzando su quali fabbricati i singoli scenari hanno un impatto maggiore.

Poiché i quattro casi studio analizzati presentano molte caratteristiche diverse tra loro (materiche, dimensionali, ecc.), risulta difficile un confronto diretto dello stesso intervento applicato ai diversi fabbricati. Per confrontare tra loro i parametri ottenuti per ogni caso studio, ci si è quindi ricondotti ad un valore indipendente dalle caratteristiche dell'edificio e usato come input per tutte le simulazioni (vedi paragrafo 3.5.3.): la temperatura esterna.

Poiché i quattro casi studio si trovano tutti nella stessa zona geografica, si è ritenuto opportuno considerare i fabbricati soggetti alle stesse temperature esterne (la cui definizione è illustrata successivamente). Il parametro della temperatura esterna rappresenta quindi un valore assoluto comune a tutte le venti le simulazioni.

Si è quindi deciso di calcolare i parametri dh_{10} e dh_{20} , riferendosi alla temperatura interna dei singoli locali; tale calcolo viene ripetuto per la temperatura esterna al fine di avere un parametro di riferimento per la valutazione dell'efficacia degli interventi.

$$dh_{\text{est},20} = \sum (t_{\text{est}} - t_{\text{sup}})$$

se $t_{\text{est}} > 20^\circ C$

Equazione 10

$$dh_{\text{est},10} = \sum (t_{\text{est}} - t_{\text{inf}})$$

se $t_{\text{est}} < 10^\circ C$

Equazione 11

Ci si riconduce in questo modo ad un ulteriore scenario ideale, in cui si ipotizza il vino conservato all'interno di un locale le cui chiusure impediscano l'afflusso dei raggi solari e del vento, permettendo al contempo uno scambio termico tale da mantenere la temperatura interna in equilibrio istantaneo con quella esterna.

I parametri dh_{10} e dh_{20} di ogni scenario vengono quindi confrontati e rapportati ai parametri corrispondenti relativi alla temperatura esterna. Questa analisi risulta molto importante, in quanto consente di valutare l'effetto migliorativo dell'intervento rispetto alle condizioni climatiche esterne e rappresenta un riferimento unico che consente un confronto tra le prestazioni dei vari edifici analizzati. Scenari le cui performance riportano nel confronto con l'ambiente esterno valori superiori al 100%, indicano quindi che, riferendosi unicamente alla temperatura (ovvero tralasciando i parametri relativi all'umidità e all'infiltrazione dell'aria), sarebbe più performante, paradossalmente, lasciare il vino all'esterno del fabbricato (protetto da vento e sole) piuttosto che all'interno.

3.4.2. Minimizzazione del fabbisogno energetico in presenza di impianti di controllo termico

Dovendo introdurre degli impianti di controllo termico, si è ritenuto opportuno restringere l'intervallo di temperatura, rispetto al caso precedente, a livelli ottimali per il vino, definendo un intervallo compreso tra i 12 e i 18°C. Essendo in questo caso già garantito dagli impianti il mantenimento della temperatura idonea, scopo dell'analisi è quello di individuare gli scenari in cui risulta minimo il fabbisogno energetico legato al funzionamento degli impianti di controllo termico.

Utilizzando un software di simulazione energetica in regime dinamico, come meglio descritto al paragrafo 3.5., è quindi stato quantificato il fabbisogno energetico annuo del fabbricato, espresso in kWh, per il raffrescamento (al fine di mantenere le temperature interne al di sotto dei 18°C, nei periodi caldi) e per il riscaldamento (per mantenere le temperature interne al di sopra dei 12°C, nei periodi freddi).

Per uniformare i risultati riferiti a casi studio di differenti dimensioni, considerando che, ovviamente, i fabbricati di dimensione maggiore hanno un fabbisogno energetico complessivo maggiore per il funzionamento degli impianti, i valori assoluti dell'energia richiesta (espressa in kWh) sono stati rapportati all'unità di volume (m^3) per ogni fabbricato. I confronti sono stati quindi effettuati sull'energia per volume (kWh/m^3). I parametri utilizzati per il confronto dei diversi scenari per ogni caso studio, sono pertanto tre:

- energia specifica (kWh/m^3) per la produzione di calore,
- energia specifica (kWh/m^3) per il raffrescamento,
- energia specifica (kWh/m^3) complessiva.

Anche in questo caso, si è quindi proceduto al confronto dei dati ottenuti, raffrontando sia i quattro casi studio tra loro nelle singole ipotesi di riqualificazione, sia le diverse ipotesi per i singoli casi studio, individuando infine lo scenario più performante (cioè meno energivoro) per ogni fabbricato.

3.4.2.1 Stima dei costi degli interventi

Identificati gli scenari più efficaci per ogni caso studio, in termini di riduzione del fabbisogno energetico per unità di volume, risulta interessante valutarne la convenienza economica. Non essendo prese in esame in questo lavoro le caratteristiche tecniche dell'impianto eventualmente impiegabile per l'ottenimento delle condizioni di comfort termico del vino, non è possibile conoscere i consumi reali (dipendenti oltre che dal fabbisogno energetico dell'edificio anche dal rendimento dell'impianto), pertanto non si può procedere con un'analisi di pay-back sugli scenari ipotizzati.

È apparso comunque interessante stimare il costo dei diversi interventi, per avere un primo parametro di confronto circa la convenienza degli interventi proposti. Sono quindi stati stimati in prima approssimazione gli interventi corrispondenti agli scenari B, C, D e E, utilizzando voci di capitolato presenti nei prezziari ufficiali di zona e utilizzando prezzi di mercato ricavati da preventivi. I dettagli sulla stima dei costi sono riportati nel paragrafo 4.2.2.

3.5. Modellazione e simulazione energetica

Il presente studio è volto alla determinazione di un metodo di valutazione del retrofit dei fabbricati coinvolti nella produzione vinicola. Date le particolari condizioni termiche di conservazione o invecchiamento richieste dalle diverse tipologie di vino, valutabili caso per caso dall'enologo, all'interno di un progetto di riqualificazione energetica dei fabbricati adibiti a questa funzione, risulta interessante prevedere un metodo che consenta il controllo del parametro temperatura all'interno dei locali.

A questo scopo risulta funzionale l'utilizzo di programmi di simulazione energetica in regime dinamico che, date le caratteristiche geometriche, materiche, geografiche e impiantistiche del fabbricato, sono in grado di fornire, tra gli altri parametri, l'andamento annuale della temperatura all'interno del locale modellato.

Si è proceduto innanzitutto alla validazione della procedura di modellazione dei locali adibiti alla conservazione del vino, secondo i criteri descritti nel paragrafo 3.5.4.; successivamente, una volta verificata, si è applicata la stessa procedura per modellare i casi studio nei diversi scenari.

3.5.1. Energy Plus

Ai fini del presente studio, tra i numerosi software di simulazione energetica esistenti, si è scelto di usare Energy Plus. Il programma, tra le tante funzioni, è in grado di modellare un fabbricato e i relativi processi energetici (climatizzazione, illuminazione, carico termico derivante dagli occupanti

e dalle attrezzature elettriche, ecc.), simulandone il comportamento termico e il fabbisogno energetico.

La prima versione di Energy Plus nasce nel 2001 negli Stati Uniti, a partire dai due software di simulazione termo-energetica DoE-2 e Blast, rispettivamente del Ministero dell'Energia e del Ministero della Difesa, ma con un'importante innovazione consistente nell'iteratività del bilanciamento tra il carico termico richiesto dall'ambiente per mantenere la temperatura prefissata e il carico fornito dall'impianto, a differenza dei programmi predecessori che si basavano, invece, su un procedimento a cascata. Energy Plus è infatti costituito da una serie di moduli che gestiscono i calcoli separatamente e i cui risultati sono gestiti a loro volta da altri moduli di livello gerarchico superiore, che permettono la risoluzione dei diversi calcoli in simultanea e non a cascata. Inoltre, essendo il software open source, tale struttura permette continui aggiornamenti anche da parte di utenti che abbiano dimestichezza con un solo settore e non con l'intero software, permettendo una continua evoluzione del programma.

Energy Plus si interfaccia facilmente con altri software che ne semplificano l'utilizzo: i file di input e di output sono in formato ASCII, quindi modificabile tramite un semplice editor di testo, e molti software commerciali per la modellazione e per la simulazione energetica consentono l'esportazione dei propri file in formato compatibile con Energy Plus, risolvendo il problema dovuto alla poca immediatezza della sua interfaccia grafica.

La modellazione degli edifici in Energy Plus si basa sulla definizione di zone termiche, cioè di porzioni di spazio a temperatura uniforme, composte dal volume d'aria contenuto e dalle superfici che lo delimitano, e sulle seguenti ipotesi negli scambi di calore: temperatura dell'aria uniforme all'interno della zona termica, temperatura uniforme di ogni superficie, irraggiamento uniforme ad alta e bassa lunghezza d'onda, superfici uniformemente diffondenti e trasmissione monodimensionale del calore di conduzione.

Per la simulazione termica, il software utilizza un file meteo in formato .epw, che contiene le informazioni climatiche più importanti relative ai dati climatici del sito di interesse in un anno solare di riferimento. I file meteo di oltre 2100 località del mondo sono reperibili sul sito del programma ed essendo in formato ASCII sono modificabili mediante semplici editor di testo ed adattabili ad altri siti di caratteristiche climatiche note. Il motore di calcolo restituisce quindi un file in formato nativo di EnergyPlus (.eso), contenenti gli output richiesti (per questo studio: temperatura interna ed esterna di parete, temperatura media della zona termica, ed altri.).

3.5.2. OpenStudio

OpenStudio è una collezione di applicativi per la gestione dell'intero progetto di modellazione energetica di Energy Plus, nato inizialmente come plug-in di SketchUp, che utilizza le capacità di

modellazione 3D di quest'ultimo per modellare gli edifici destinati al calcolo energetico, consentendo una rapida ed efficace fase di input.

Dopo aver modellato l'edificio con le caratteristiche geometriche volute, utilizzando i comandi base di SketchUp, la finestra ausiliaria Inspector di OpenStudio consente di inserire la maggior parte delle informazioni necessarie alla simulazione in Energy Plus (i materiali, il settaggio dei termostati, il file meteo di riferimento, ecc.) e un ulteriore comando apre l'OpenStudio Application (un ulteriore applicativo di OpenStudio) che, mediante una grafica di facile comprensione, permette di completare il modello, fornendo eventuali informazioni mancanti, e di lanciare la simulazione con Energy Plus, utilizzando il ParametricAnalysis Tool e il RunManager (applicativi che gestiscono gli output e le simulazioni).

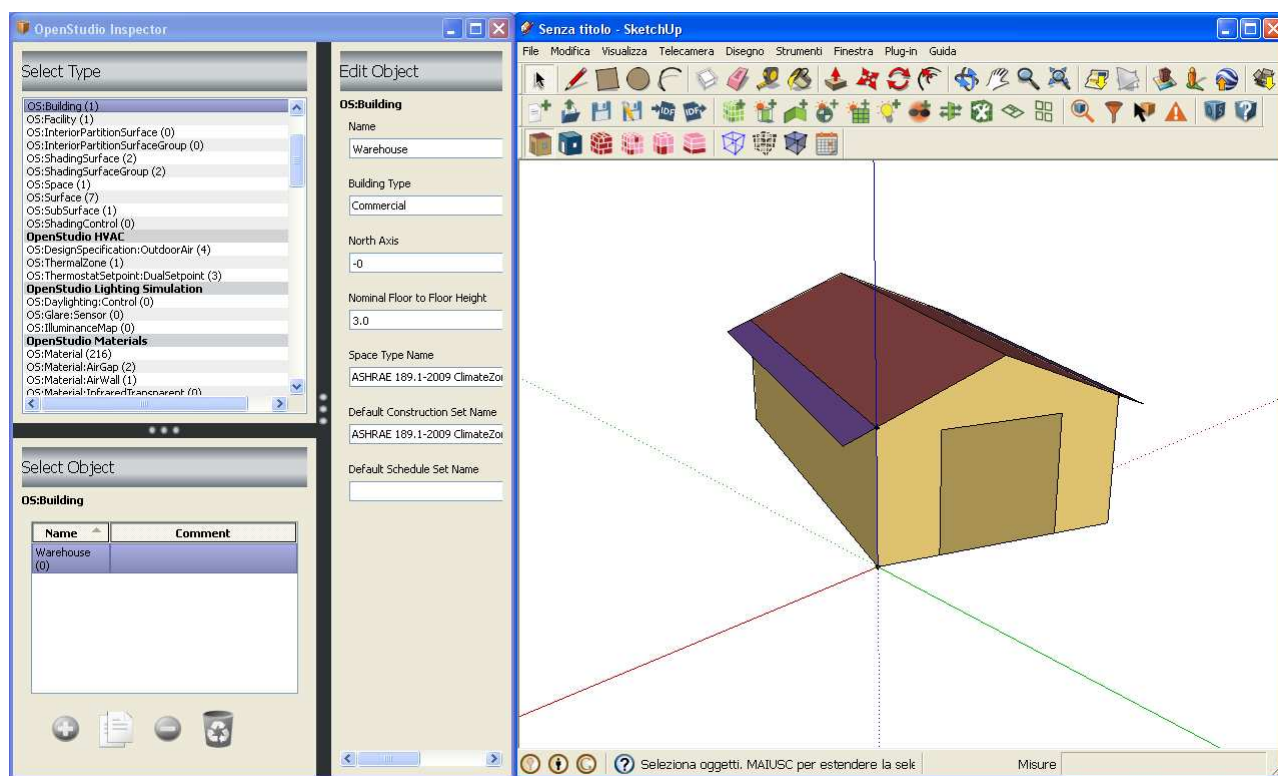


Figura 19 – Interfaccia di OpenStudio Plugin per SketchUp

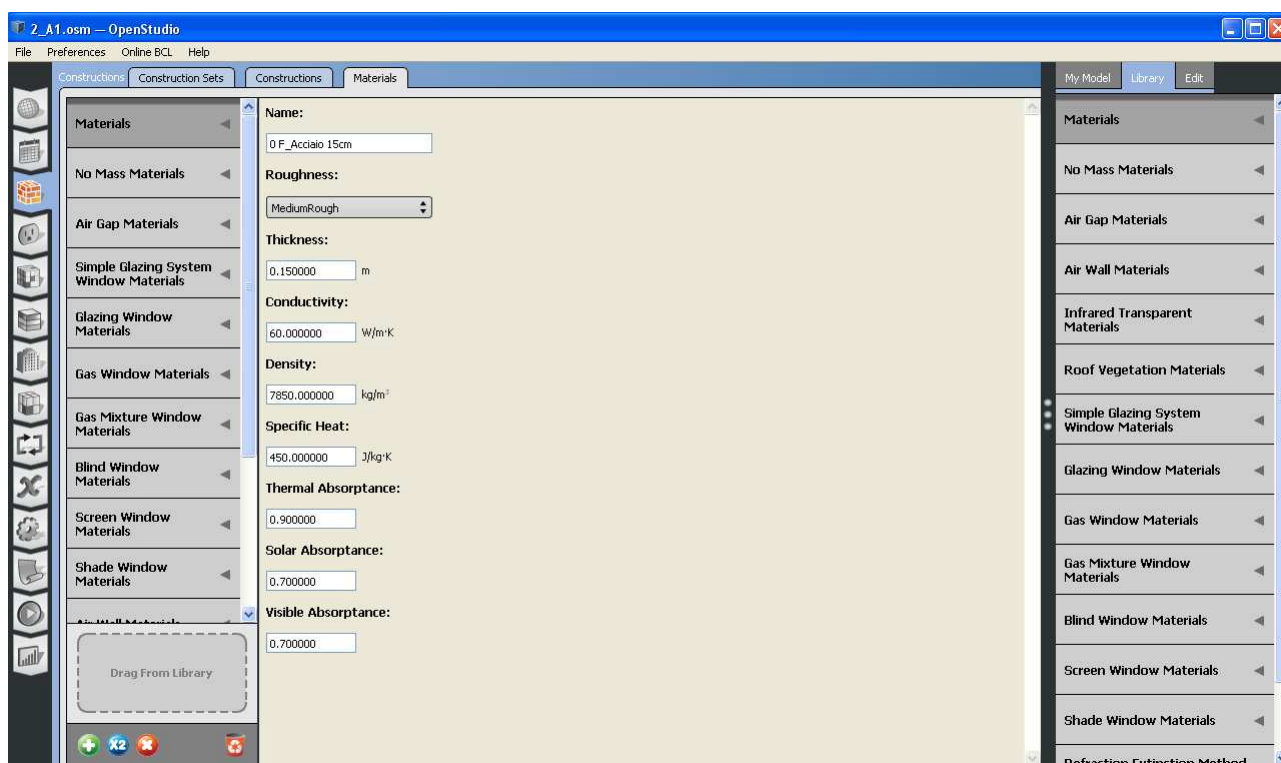


Figura 20 – Scheda di OpenStudio Application per la gestione dei materiali

Un ulteriore applicativo, il ResultViewer, consente di visualizzare i risultati della simulazione lanciata, anche in forma grafica (Figura 21).

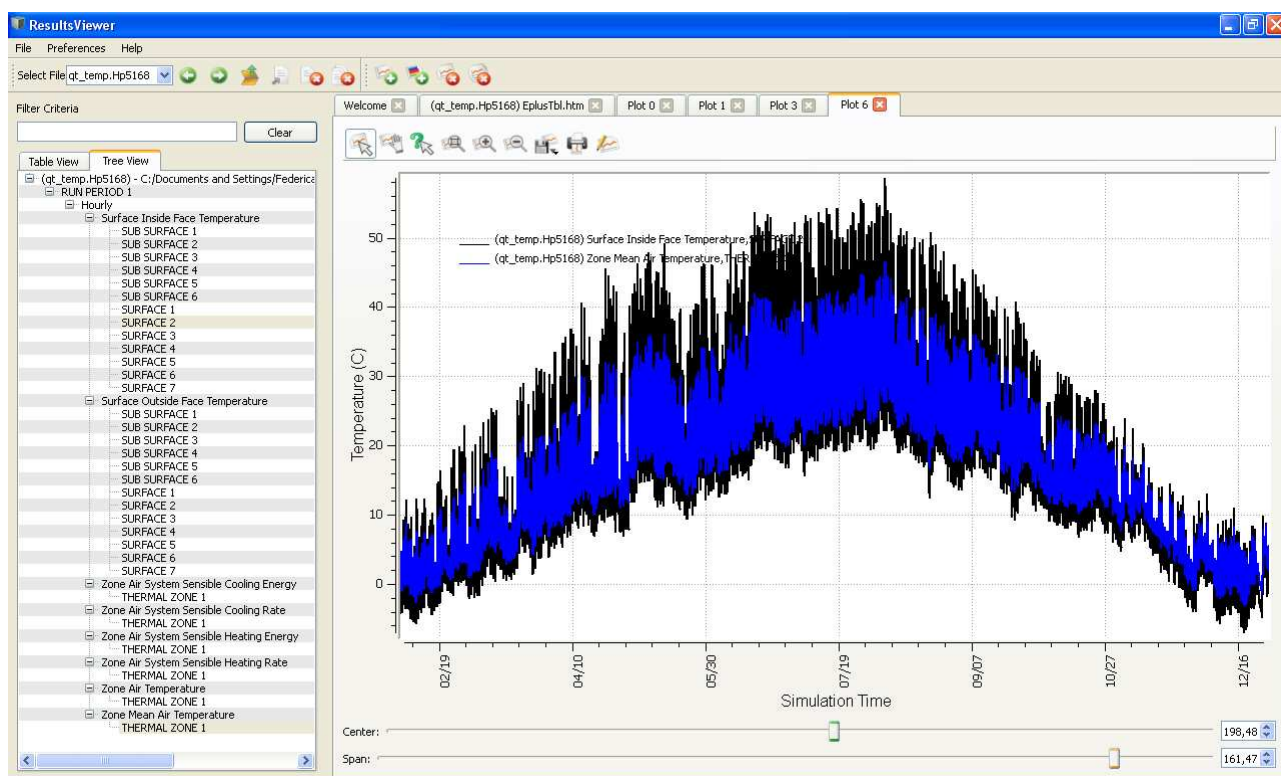


Figura 21 – Schermata dei risultati ottenuta con Result Viewer

3.5.3. Il file meteo

Come descritto in precedenza, per poter procedere alla simulazione, Energy Plus necessita, oltre che del file, che descrive le caratteristiche dell'edificio (in formato .idf), anche di un file, che fornisce i dati climatici del sito (in formato .epw) in cui è collocato l'edificio modellato.

All'interno del file, indicati con frequenza oraria per un periodo di un anno, sono contenuti i principali dati climatici che influenzano gli scambi termici dell'edificio. Il file, in formato ASCII, modificabile da un editor di testo, presenta quindi una prima serie di informazioni con indicazioni non pregiudicanti il lancio della simulazione, quali latitudine, longitudine, fuso orario, ecc.

Seguono poi 8760 righe, una per ogni ora dell'anno, in cui sono riportati in orizzontale, oltre all'indicazione di anno, mese, giorno, ora e minuto di riferimento, le seguenti grandezze fisiche (non tutte indispensabili per effettuare la simulazione, ma che potrebbero incidere sulla precisione della stessa):

- temperatura di bulbo secco (°C)
- punto di rugiada (°C)
- umidità relativa (%)
- pressione atmosferica (Pa)
- radiazione orizzontale extraterrestre (Wh/m²)
- radiazione normale extraterrestre (Wh/m²)
- intensità di radiazione infrarossa orizzontale (Wh/m²)
- radiazione orizzontale globale, radiazione orizzontale diffusa (Wh/m²)
- illuminamento orizzontale globale (lux)
- illuminamento normale (lux)
- illuminamento orizzontale diffuso (lux)
- intensità luminosa di Zenith (cd/m²)
- direzione del vento (gradi sessagesimali)
- velocità del vento (m/s)
- copertura totale del cielo (decimi)
- visibilità (km)
- precipitazioni piovose (mm)
- altezza della neve al suolo (cm)
- giorni dall'ultima nevicata (g).

Per poter effettuare la simulazione sui casi studio individuati, è quindi necessario procurarsi un file meteo relativo alla zona di interesse (il Nuovo Circondario Imolese). Sul sito di Energy Plus sono disponibili i file meteo di oltre 2100 località nel mondo: tra queste, la più vicina alla zona studio è quella di Borgo Panigale. Il file meteo ottenuto dalla stazione meteorologica di Borgo Panigale, non

Il file meteo è stato costruito inserendo i dati registrati negli ultimi anni da una stazione meteorologica (modello PCE-FWS20) posizionata all'esterno dell'azienda Branchini (caso studio n.4), oggetto di un precedente monitoraggio tuttora in essere; in particolare è stato realizzato un file meteo relativo all'anno 2013.

Applicando il metodo ad un caso di reale progettazione di retrofit, sarà invece opportuno utilizzare un file meteo che ricalchi il più possibile l'andamento tipico della temperatura esterna reale del sito analizzato (typical meteorological year file), al fine di ottenere risultati validi nel tempo.



3.5.4. Considerazioni sulla validità del modello rispetto al caso reale

Prima di procedere alle simulazioni termiche dei casi studio, al fine di ricavare i dati necessari circa l'andamento della temperatura interna nei vari scenari e permettere così un'analisi del retrofit, è stato necessario dimostrare l'effettiva validità del sistema di modellazione e simulazione termica utilizzato. Il tema della calibrazione del modello utilizzato è qui riportato in sintesi, in quanto la sua trattazione estesa è oggetto di una pubblicazione specifica (Barbaresi, De Maria, et al. 2015), attualmente in corso di completamento dell'iter di revisione. Di seguito si riportano i tratti salienti di tale contributo.

Poiché, data la disponibilità dimostrata dall'azienda stessa, era stato precedentemente messo a punto un monitoraggio termo-igrometrico e del consumo energetico dei locali destinati alla produzione e conservazione del vino dell'azienda Branchini (caso studio n.4), già oggetto di numerosi studi, condotti dallo stesso gruppo di ricerca, relativi all'analisi delle prestazioni e alla progettazione integrata di cantine aziendali (Barbaresi 2014; Barbaresi, Torreggiani, et al. 2015), si è deciso di utilizzare i dati ricavati dal monitoraggio per confrontarli con quelli ottenuti da una prima simulazione del fabbricato 4, nello scenario A (stato di fatto), verificando la correttezza delle procedure di modellazione utilizzate.

Il test è servito inoltre a quantificare la differenza, in termini di precisione dei risultati, tra l'utilizzo di una o due zone termiche per la modellazione del fabbricato oggetto di studio, permettendo di orientare le scelte di modellazione degli altri tre fabbricati studiati.

Il monitoraggio, tuttora in essere, utilizza dei termo-igrometri data logger stand-alone, dotati di alimentazione interna (del tipo PCE HT71), capaci di rilevare e registrare temperatura e umidità istantanee secondo una programmazione temporale pre-impostata, in questo caso settata su 30 minuti, con una sensibilità di 0.1°C e una precisione di 0.5°C. La disposizione dei termo-igrometri è stata studiata in base alla forma e al volume di ogni locale, alle attività svolte all'interno e a prove sperimentali eseguite inizialmente per valutare la variazione di temperatura lungo una griglia di punti tridimensionale.

Per il fabbricato ad uso conservazione, data l'uniformità dei dati registrati nel test iniziale, sono stati posizionati inizialmente soltanto due termo-igrometri, entrambi a 2.00 m di altezza. Un successivo test ha rilevato una differenza di temperatura nel sottotetto (corrispondente all'ultimo metro e mezzo in altezza) pari a +0.5°C, suggerendo l'inserimento di un terzo termo-igrometro fisso, tuttora attivo, alla quota di 3.00 m.

Il confronto tra i dati monitorati e quelli simulati ha rivelato che il modello realizzato con una sola zona termica (modello A) e quello realizzato con due zone termiche (modello B, realizzato distinguendo il sottotetto dalla zona relativa ai primi 3.00 m di altezza) presentano entrambi differenze medie annuali, rispetto ai dati reali, inferiori a 0.5°C a misurazione, limitatamente alla

parte bassa (i primi 3.00 m in altezza), mentre il modello B risulta più preciso del modello A per quanto riguarda l'ultimo metro e mezzo (sottotetto). Ritenendo verosimile, data la conformazione a falde del tetto e la presenza di capriate lignee all'interno, che il vino venga immagazzinato solo al di sotto dei 3 m di altezza, quota a partire dalla quale è stata riscontrata una variazione sensibile di temperatura (+0.5°C), si ritiene sufficiente una modellazione, più semplice, ad una sola zona termica. Va comunque specificato che, qualora le caratteristiche del fabbricato siano molto diverse dal caso studiato o qualora sia interessante conoscere l'esatto andamento della temperatura anche ad altezze interne maggiori, risulta opportuno ripetere il test ed eventualmente suddividere lo spazio modellato in più zone termiche.

Poiché i fabbricati 1 e 2 oggetto di studio sono di forma regolare, con sottotetti limitati e di dimensioni simili al fabbricato 4, è risultato irrilevante utilizzare una o due zone termiche, come conseguenza dei risultati conseguiti sul fabbricato 4. Per semplicità, si è quindi deciso di modellare anche i fabbricati 1 e 2 con un'unica zona termica.

Il fabbricato 3, pur avendo anch'esso un sottotetto limitato, presenta dimensioni complessive maggiori rispetto agli altri tre edifici. In questo caso potrebbe quindi sorgere il dubbio sull'eventuale maggiore efficacia di una modellazione a due zone termiche.

È stata quindi condotta una simulazione di prova del fabbricato 4 nello stato di fatto, prima utilizzando una sola zona termica e poi suddividendo il volume dell'edificio in due zone termiche distinte, una corrispondente al sottotetto (ultimi 1.80 m) e l'altra corrispondente alla parte sottostante (i primi 5.00 m di altezza). L'analisi dei risultati ha dimostrato una differenza non significativa tra i dati ottenuti dalle due simulazioni: in particolare per la parte inferiore, la differenza di temperatura è mediamente pari a 0.1°C (più alta nella modellazione ad un'unica zona termica), mentre la modellazione a due zone termiche mette in evidenza una temperatura maggiore di circa 0.5°C nel sottotetto, rispetto alla parte sottostante, analogamente a quanto riscontrato sia dal monitoraggio che dalla simulazione termica del fabbricato 4. Anche in questo caso, quindi, si è scelto, per semplicità, di modellare il fabbricato mediante un'unica zona termica, considerando la differenza di 0.1°C irrilevante ai fini di una corretta conservazione del vino, data l'analisi della letteratura scientifica in merito, e ipotizzando di non prevedere l'immagazzinamento del vino ad altezze prossime a quelle del sottotetto e comunque considerando anche la differenza di 0.5°C non rilevante.

Per la definizione di un metodo di progettazione generale, si mette in evidenza, però, come l'utilizzo di più zone termiche sia consigliato in situazioni differenti, con geometrie più complesse o sottotetti più alti, per avere un maggior livello di precisione sui risultati, o nel caso siano richieste condizioni più restrittive circa la temperatura di conservazione di determinati vini. La scelta di utilizzare una o più zone termiche è quindi da valutare caso per caso, in base alle caratteristiche dell'edificio e in base alle indicazioni fornite dall'enologo sul vino da conservare.

3.5.5. Modellazione dei quattro casi studio

Mediante Open Studio si è proceduto alla modellazione dei quattro fabbricati descritti in precedenza. Per il presente studio, si è ritenuto opportuno effettuare una semplificazione di alcuni modelli, nella fase di realizzazione del modello 3D mediante il plugin OpenStudio per SketchUp (descritto nel paragrafo 3.5.2): l'analisi svolta nel presente lavoro è infatti volta alla determinazione di un criterio generale per la valutazione e il confronto di diverse ipotesi progettuali; è quindi sembrata superflua la rappresentazione di elementi particolari, quali bagni o setti all'interno del fabbricato o ulteriori edifici nelle vicinanze o adiacenze di quelli modellati.

Per questo motivo, i primi due fabbricati, appartenenti allo stesso complesso, adiacenti e comunicanti mediante una porta, sono stati modellati come indipendenti, isolati e senza porta comunicante; il tutto per ricondursi ad un caso più generale possibile.

In particolare, il fabbricato 1 è stato rappresentato senza la partizione interna in laterizio, sia per ricondursi a un caso più generale, sia perché, nell'ipotesi di riqualificare il locale ad uso magazzino per la conservazione di bottiglie, è apparsa più idonea la conformazione a monolocale. Sono state comunque mantenute le due porte principali e le quattro finestre.

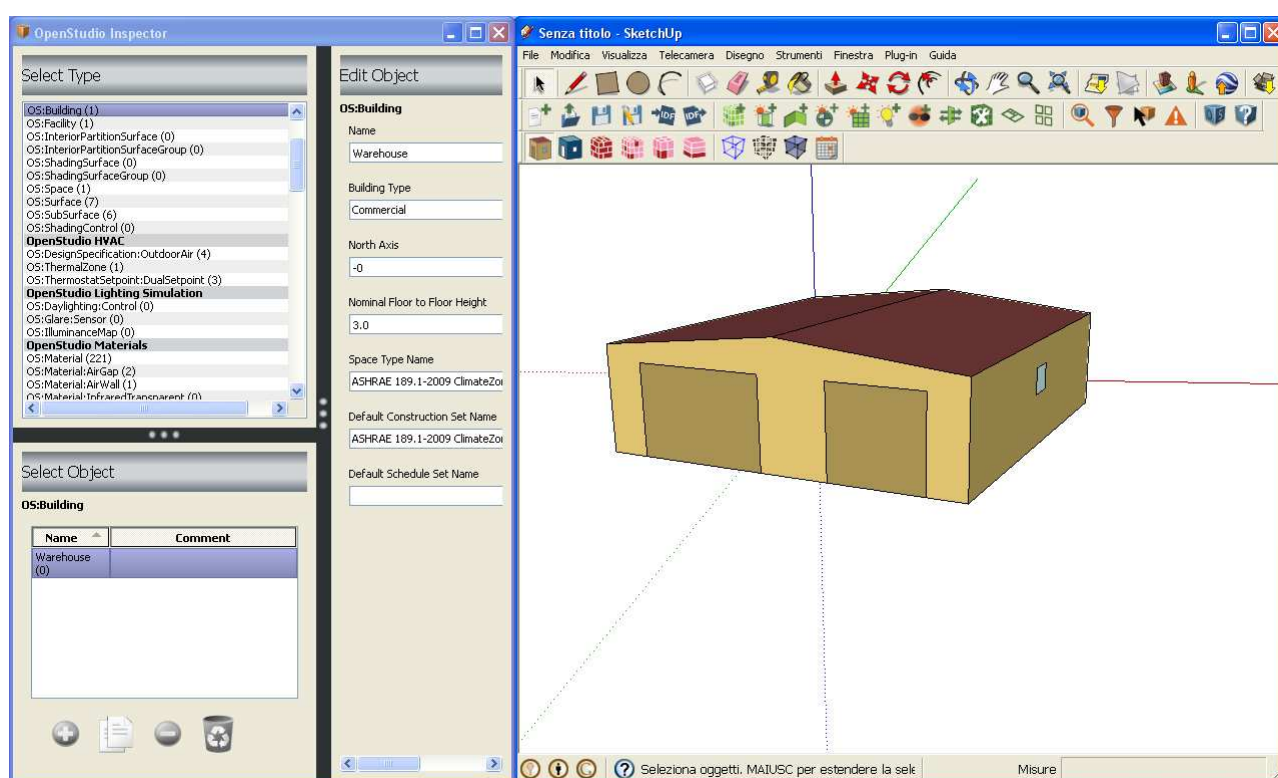


Figura 23 – Fabbricato 1 modellato col plugin Open Studio in SketchUp

Analogamente, il fabbricato 3 è stato semplificato internamente, escludendo dalla modellazione il bagno e il ripostiglio, che rappresentavano una singolarità, di modeste dimensioni e poco influente sulla simulazione termica, rispetto alle tipicità dei fabbricati rurali dell'area studio. Come negli altri casi, sono state comunque mantenute tutte le aperture.

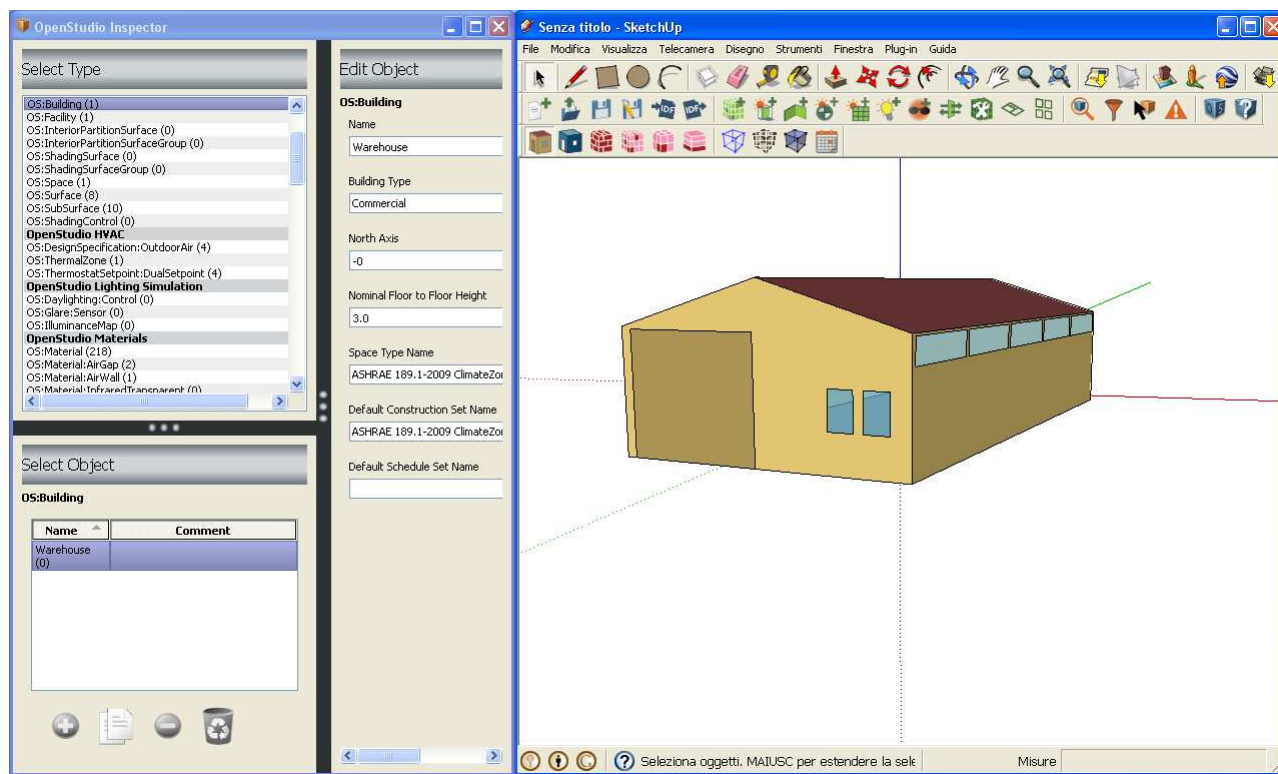


Figura 24 – Fabbricato 3 modellato col plugin Open Studio in SketchUp

Per effettuare le simulazioni termiche, Energy Plus considera l'influenza data dal terreno sottostante l'edificio, permettendo di settare le temperature mensili del terreno, tramite il parametro *"GroundTemperature:BuildingSurface"*. Tali temperature sono state dedotte da un monitoraggio effettuato sempre presso il fabbricato 4, mediante dei termo-igrometri posizionati nel terreno alla profondità di 1.00 m; dai dati registrati sono state quindi ricavate le medie mensili (richieste da Energy Plus). Per modellare correttamente le caratteristiche del terreno, si è agito sulla modellazione del pacchetto costruttivo del solaio di calpestio dei fabbricati: esso è stato realizzato, in tutti i quattro casi studio, mediante uno strato superficiale di 15 cm di calcestruzzo alleggerito con argilla espansa e uno strato fittizio di terreno dello spessore di 1.00 m, in modo da far coincidere la quota di intradosso del solaio così modellato con quella in cui sono stati registrati i dati relativi alle temperature del terreno.

Sono state quindi definite le caratteristiche dei materiali che compongono i vari elementi dell'edificio, indicando per ogni materiale, il nome, la rugosità, lo spessore (m), la conduttività

termica (W/mK), la densità (kg/m^3), il calore specifico (J/kgK) e i coefficienti di assorbimento termico, solare e di radiazione visibile. Per ogni elemento costruttivo (pareti, solaio di calpestio, copertura, porte e finestre) è stato poi definito il relativo pacchetto (*construction*), inserendo, dal più esterno al più interno, i materiali che lo costituiscono.

Per la modellazione del fabbricato 2, dovendo tenere conto del diverso comportamento termico dei punti a ridosso delle travi in acciaio rispetto alle parti tamponate in muratura, ogni parete è stata realizzata con l'alternanza di superfici associate alla construction dei tamponamenti in muratura e di superfici associate alla construction dell'acciaio, queste ultime dimensionate in modo da simulare correttamente l'effetto del ponte termico in questo punto.

Per il fabbricato 4, che presenta un'analogia struttura portante in telaio in acciaio, l'intelaiatura non è stata invece modellata, in quanto l'involucro esterno, al contrario della muratura di tamponamento del fabbricato 2, è continuo ed evita perciò la presenza di ponti termici; il telaio in acciaio del fabbricato 4 non influisce quindi sulla simulazione termica.

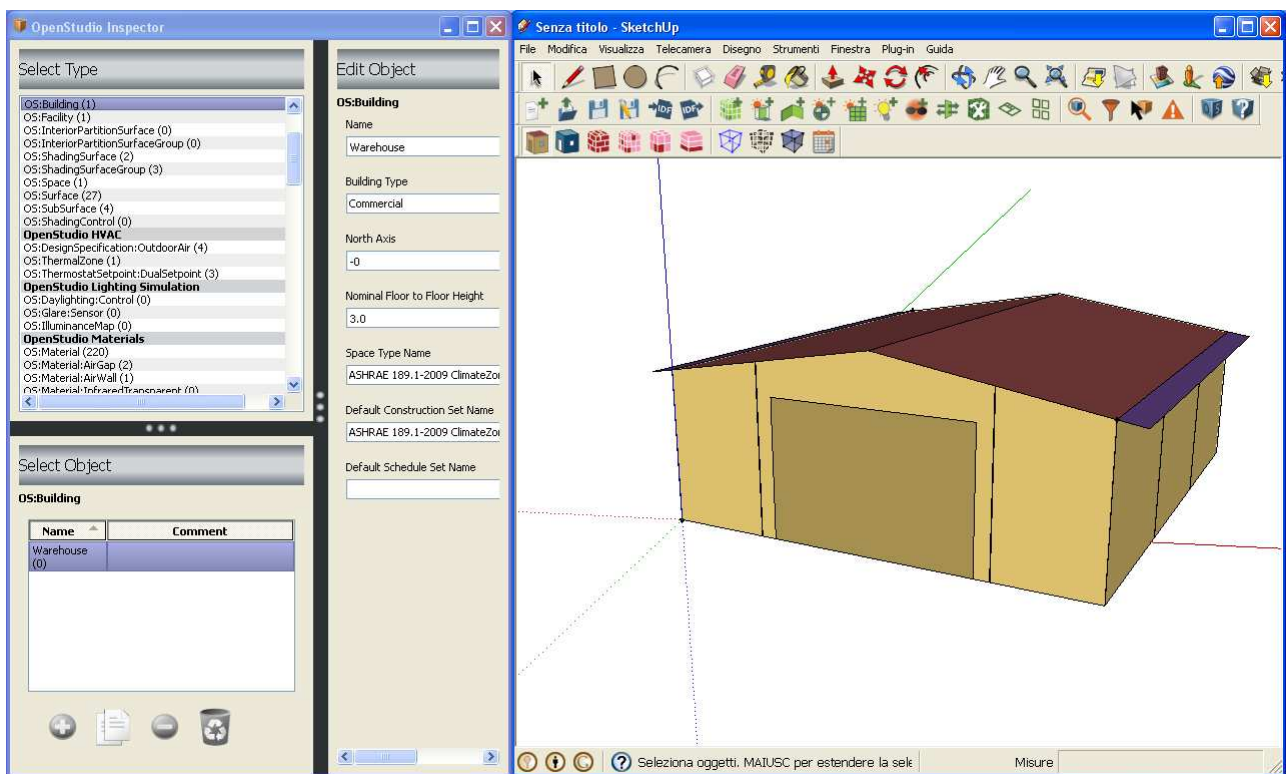


Figura 25 – Fabbricato 2 modellato col plugin Open Studio in SketchUp

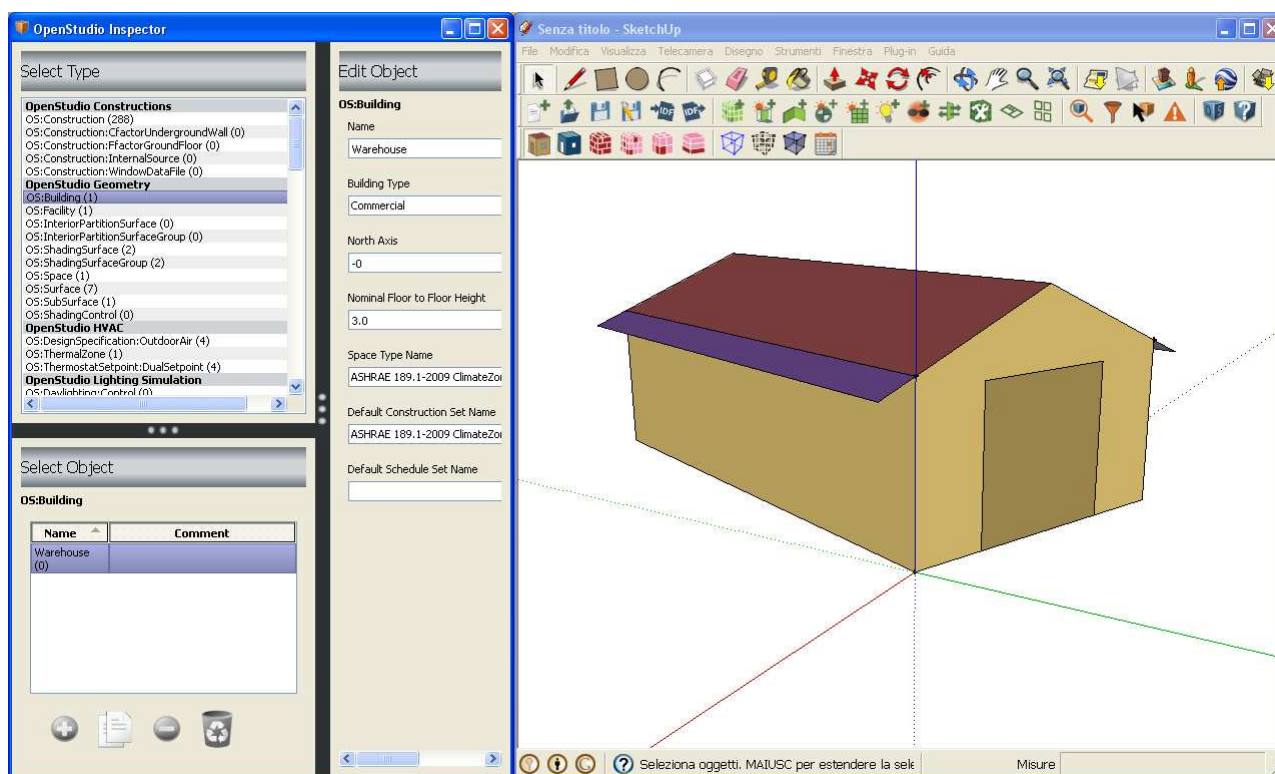


Figura 26 – Fabbricato 4 modellato col plugin Open Studio in SketchUp

È stato inoltre definito uno specifico *Space Infiltration Design Flow Rate*, corrispondente al livello di infiltrazione dell'aria all'interno dei locali, dovuto alla confermazione stessa dei fabbricati o all'apertura di porte e finestre: il valore è stato settato pari a 0.7 cambi di aria per ora, nei casi in cui la copertura è costituita da semplice lamiera appoggiata alle travi di copertura (fabbricato 2), consentendo quindi una maggiore infiltrazione di aria, e pari invece a 0.5 cambi di aria per ora negli altri casi.

Sono stati infine definiti i due termostati, utilizzati per l'analisi sulla minimizzazione del fabbisogno energetico in presenza di impianti di controllo termico, che simulano la presenza di un ipotetico impianto di riscaldamento/raffrescamento che permette di mantenere la temperatura interna compresa tra i 12°C e i 18°C (intervallo settato me diante due specifiche *schedules*).

Rispetto alla modellazione dello stato di fatto, per realizzare gli scenari B e D, che prevedono rispettivamente l'inserimento di un cappotto in polistirene espanso in parete e un isolamento in fibra di legno in copertura, è stato modificato il pacchetto relativo rispettivamente ai muri esterni e al tetto, aggiungendo semplicemente il materiale isolante (o sostituendolo all'isolante esistente, come per il fabbricato 4) all'interno della *construction* relativa, nella posizione stratigrafica appropriata.

Per realizzare invece lo scenario C, che prevede l'inserimento di una struttura ombreggiante in foglie di viti, è stata modellata una *Shading Surface* delle dimensioni opportune, col plugin Open

Studio in SketchUp, alla quale è stata associata una schedule, con Open Studio Application, atta a definire le proprietà oscuranti della struttura al variare dei mesi dell'anno.

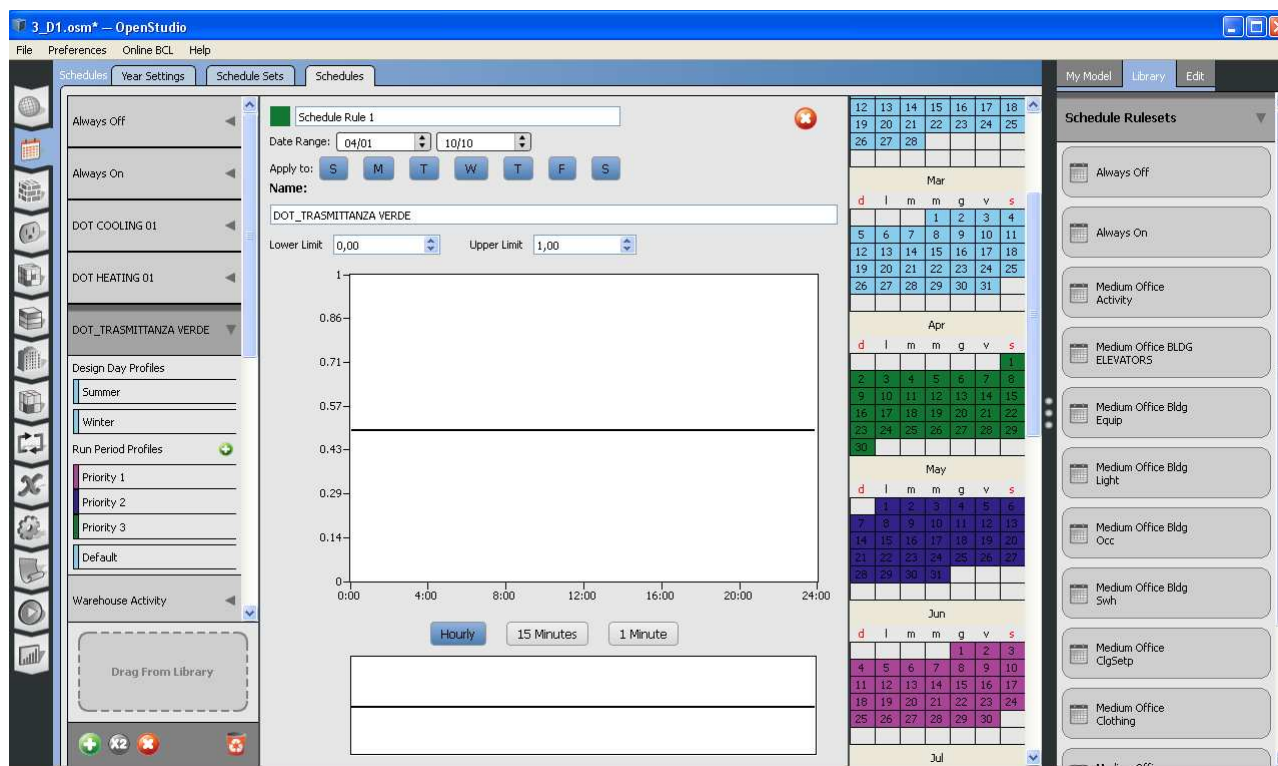


Figura 27 – Schermata relativa alla definizione delle schedules

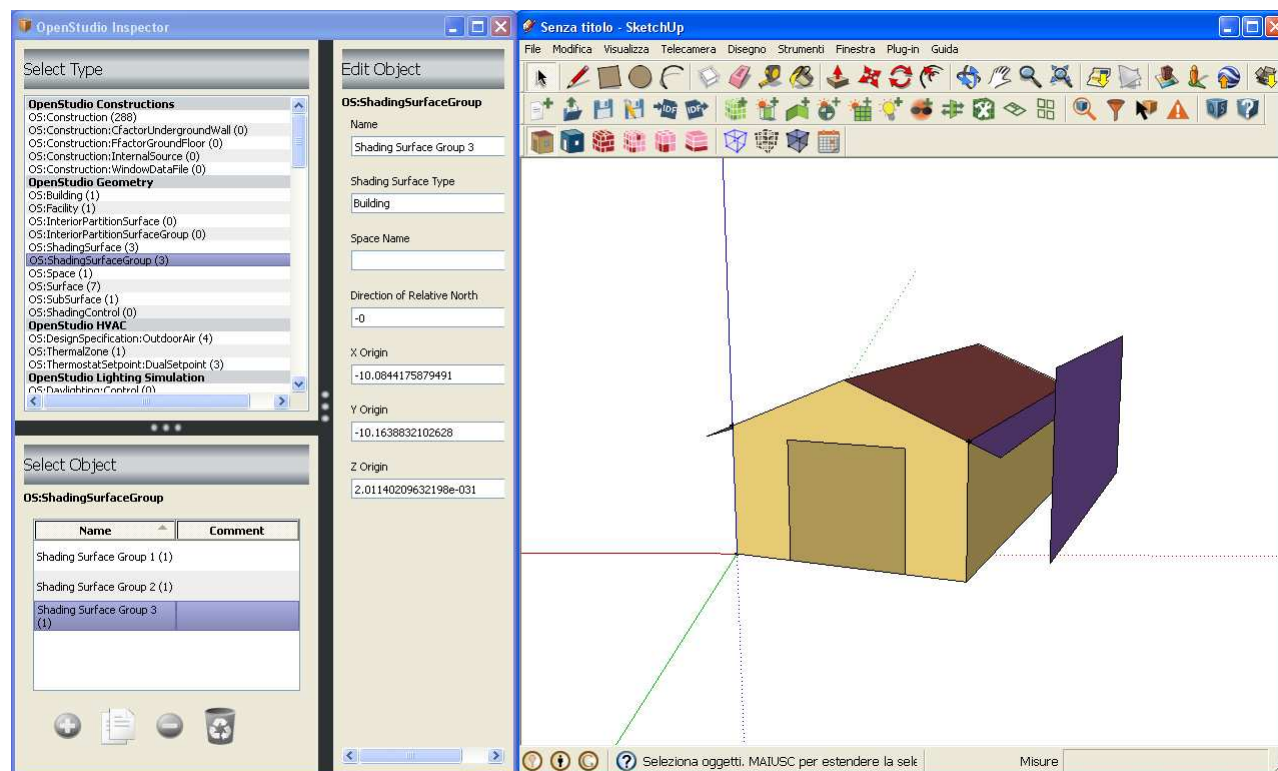


Figura 28 – Modellazione della schermatura col plugin Open Studio in SketchUp

Le variabili di output scelte sono state raccolte in fogli di calcolo ed elaborati come descritto nei capitoli precedenti (vedi 3.4.1. e 3.4.2.).

Capitolo 4 - Risultati

4.1. Analisi degli scenari in assenza di impianti di controllo termico

Per valutare l'effettiva idoneità di un fabbricato rurale ai fini della conservazione del vino, si possono considerare diversi parametri termici.

Nel capitolo 4.1.1., viene quantificata l'entità del discomfort complessivo annuo, espresso in termini di gradi ora di discomfort (dh) calcolati sull'intero anno. I risultati forniscono una prima indicazione per valutare l'efficacia dell'intervento di retrofit, permettendo di individuare gli scenari che comportano la massima riduzione del valore di discomfort.

Tale valore potrebbe però non essere sufficiente ai fini di una corretta valutazione, in quanto non permette di stabilire:

- l'entità dei picchi più alti di temperatura, che in relazione a determinate tipologie di vino potrebbero doversi mantenere al di sotto di una certa soglia indicata dall'enologo, pur in condizioni di valori di dh bassi;
- il numero di ore di discomfort in un anno, che, se elevato, potrebbe compromettere una corretta conservazione del vino, o potrebbe rilevare che, nonostante un valore alto di dh, le temperature rimangono medianti basse;
- lo scostamento medio della temperatura interna dall'estremo dell'intervallo di comfort più prossimo, che quantifica l'entità del discomfort medio.

Nel capitolo 4.1.2., verranno perciò analizzati questi ultimi valori.

Di seguito si riportano i grafici degli andamenti delle temperature simulate all'interno dei quattro casi studio nei cinque scenari (da Figura 29 a Figura 48):

- FABBRICATO 1

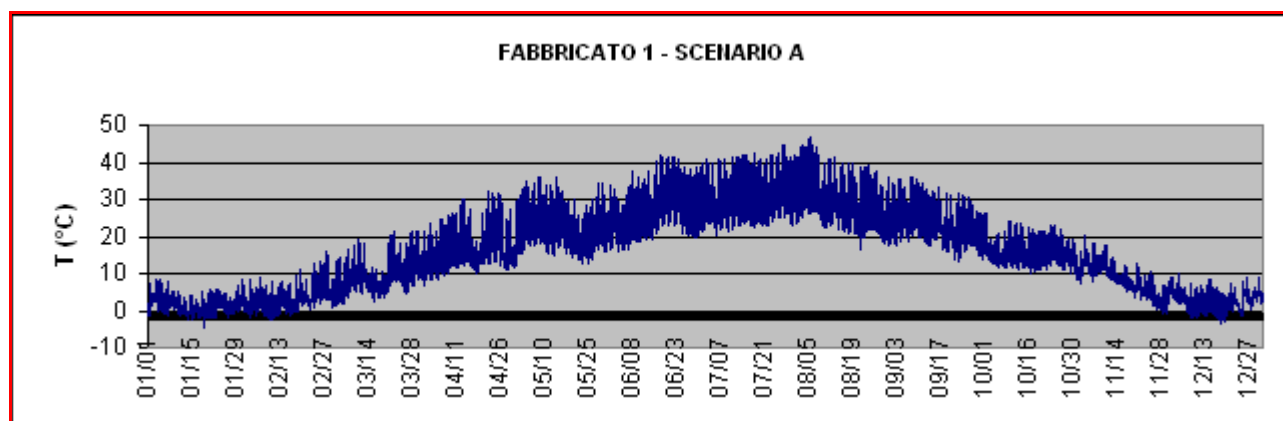


Figura 29 – Andamento della temperatura interna: Fabbricato 1 – Scenario A

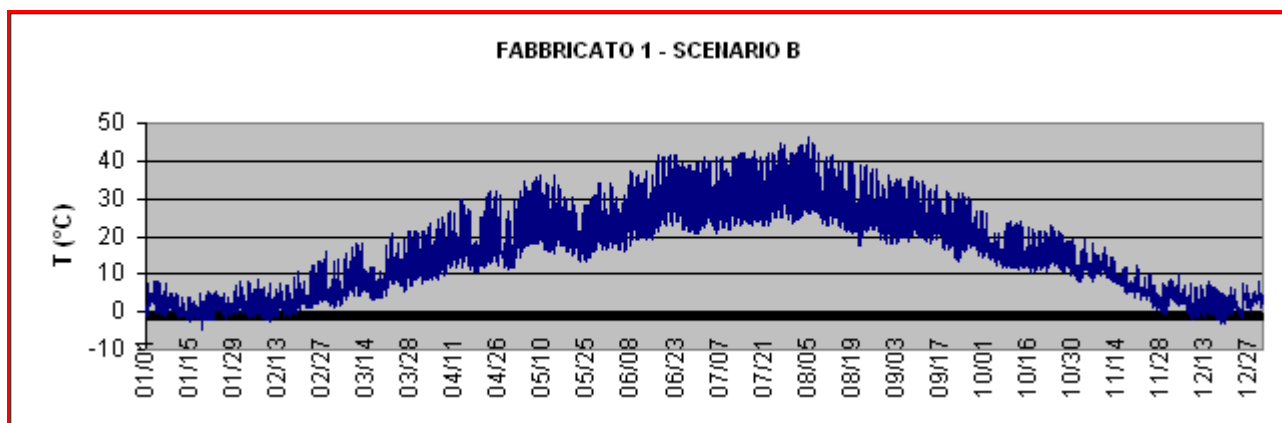


Figura 30 – Andamento della temperatura interna: Fabbricato 1 – Scenario B

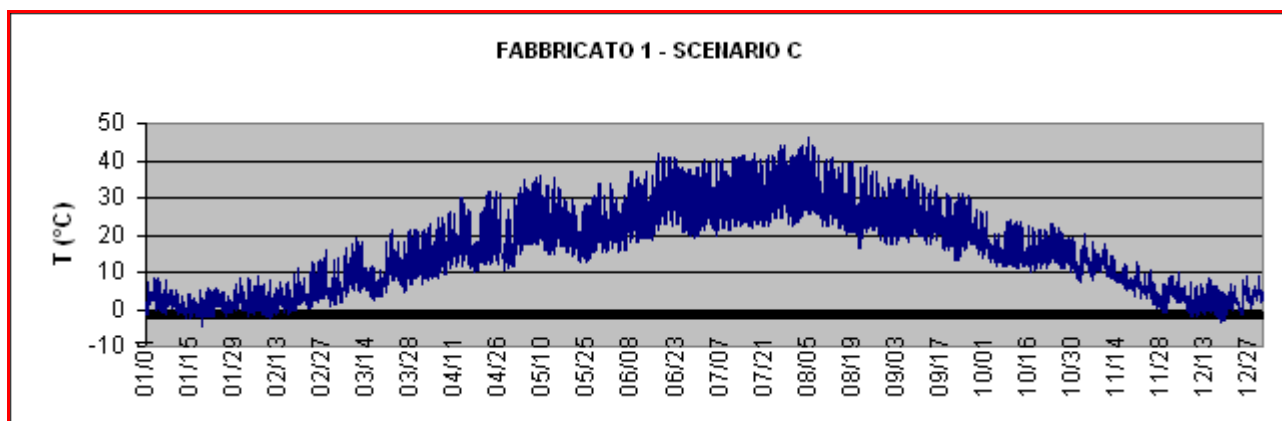


Figura 31 – Andamento della temperatura interna: Fabbricato 1 – Scenario C

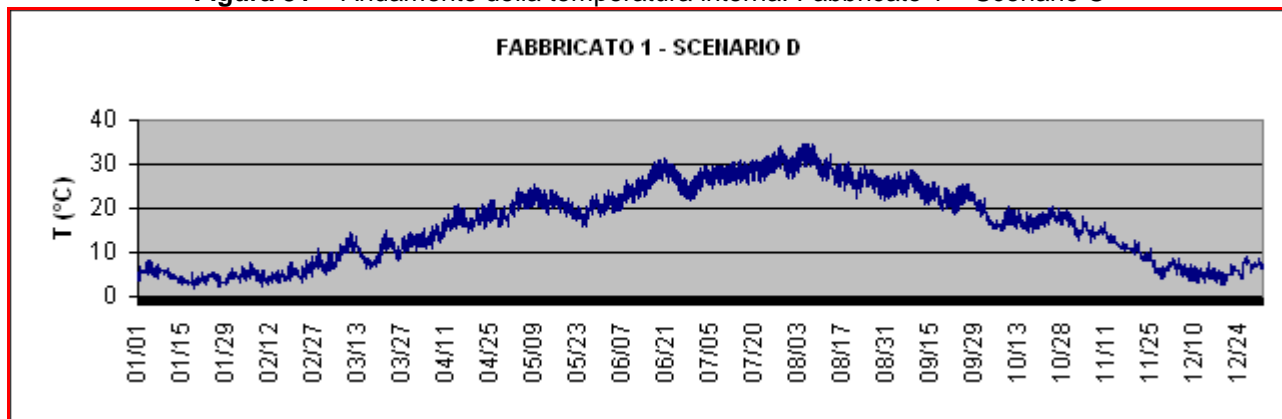


Figura 32 – Andamento della temperatura interna: Fabbricato 1 – Scenario D

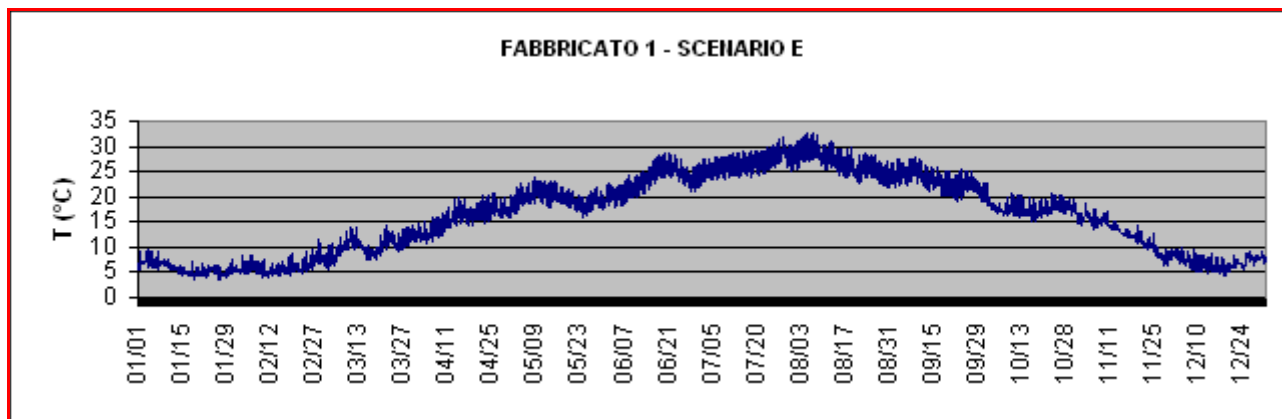


Figura 33 – Andamento della temperatura interna: Fabbricato 1 – Scenario E

- FABBRICATO 2

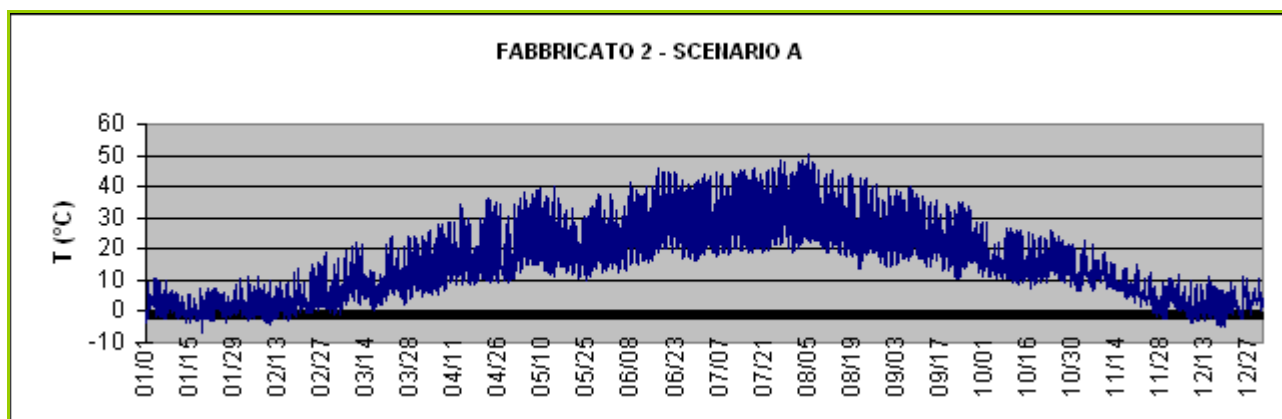


Figura 34 – Andamento della temperatura interna: Fabbricato 2 – Scenario A

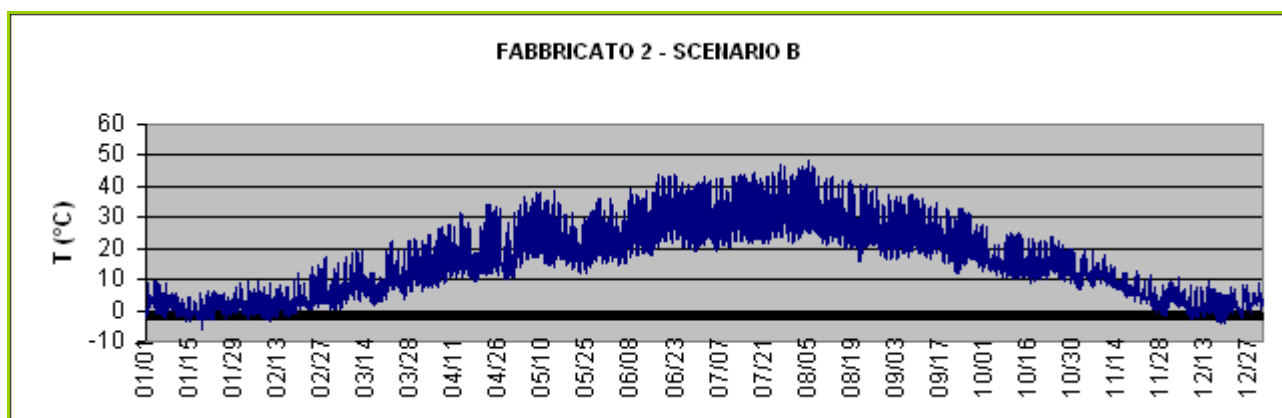


Figura 35 – Andamento della temperatura interna: Fabbricato 2 – Scenario B

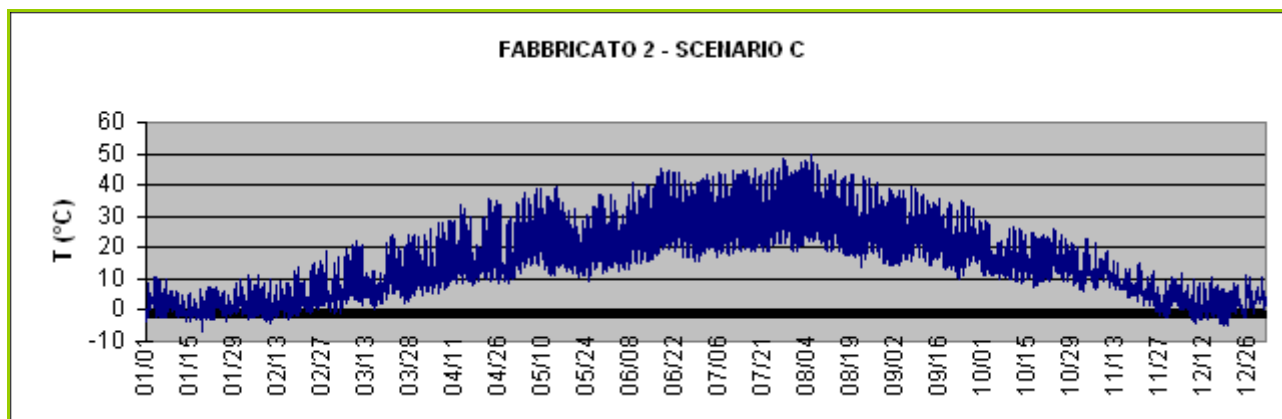


Figura 36 – Andamento della temperatura interna: Fabbricato 2 – Scenario C

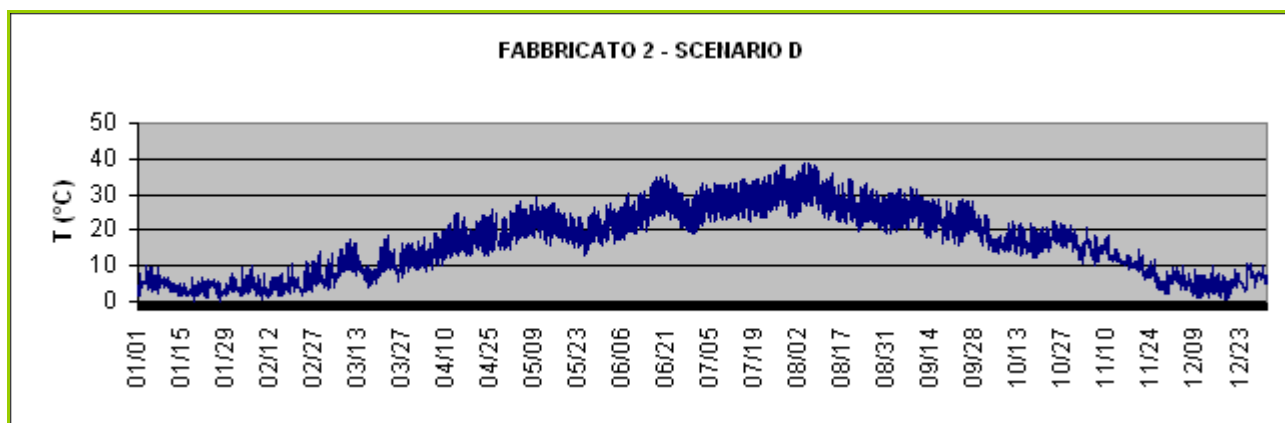


Figura 37 – Andamento della temperatura interna: Fabbricato 2 – Scenario D

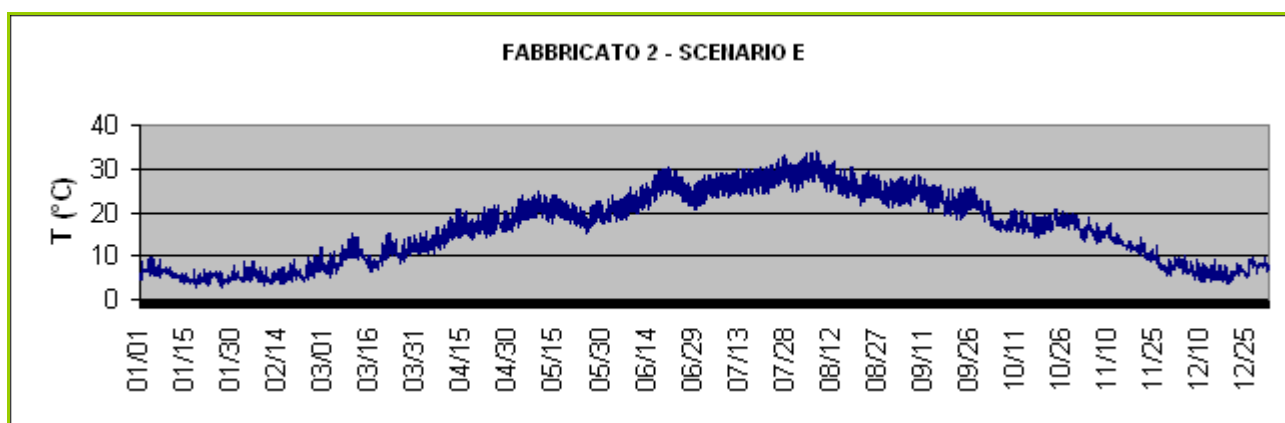


Figura 38 – Andamento della temperatura interna: Fabbricato 2 – Scenario E

- **FABBRICATO 3**

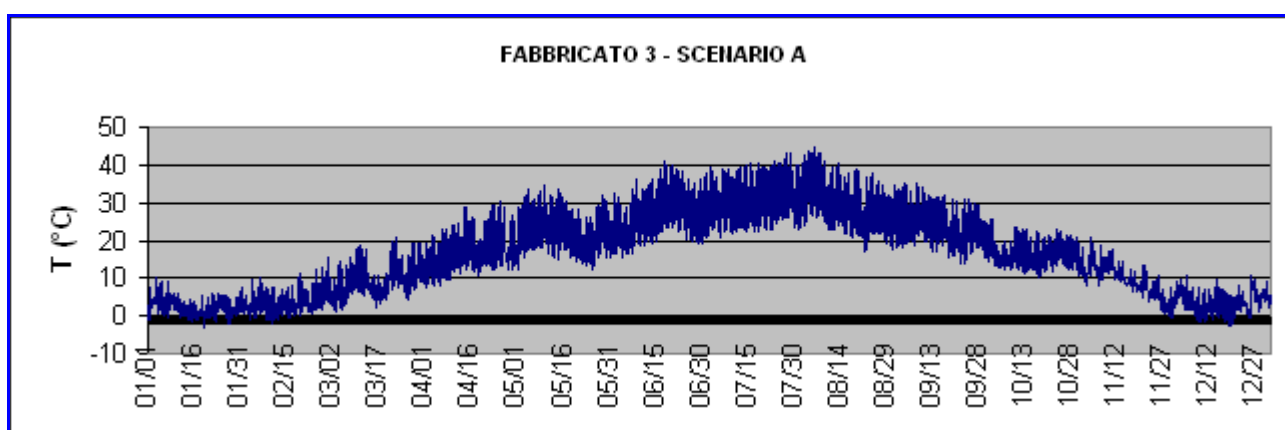


Figura 39 – Andamento della temperatura interna: Fabbricato 3 – Scenario A

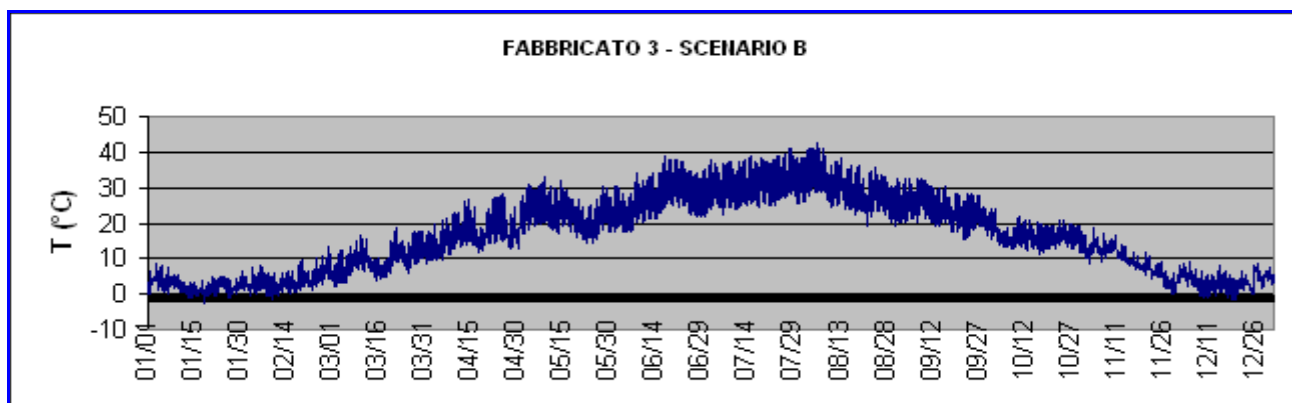


Figura 40 – Andamento della temperatura interna: Fabbricato 3 – Scenario B

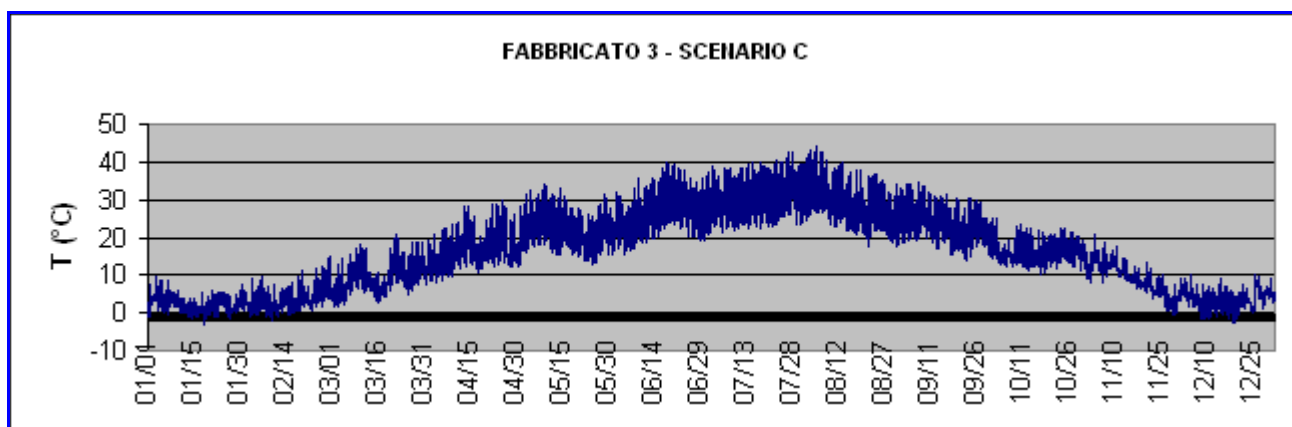


Figura 41 – Andamento della temperatura interna: Fabbricato 3 – Scenario C

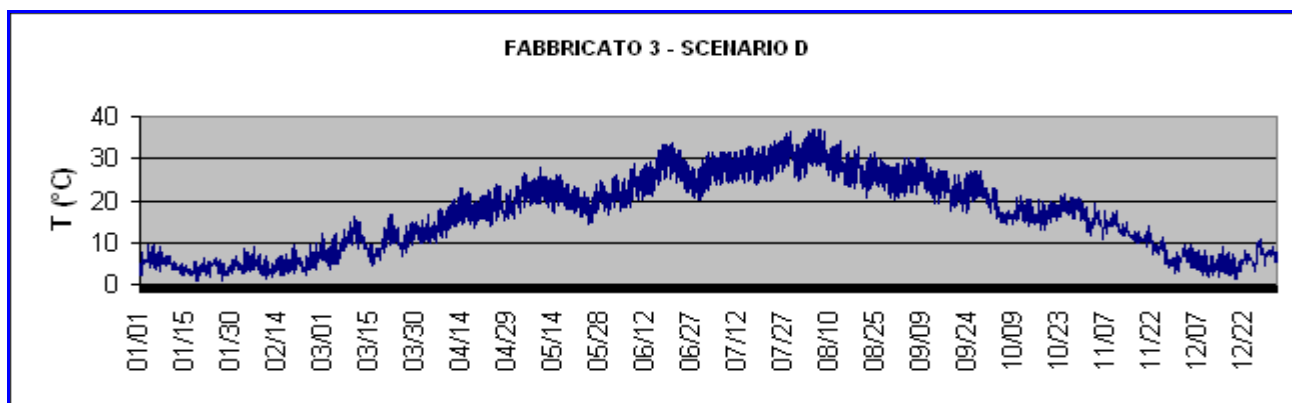


Figura 42 – Andamento della temperatura interna: Fabbricato 3 – Scenario D

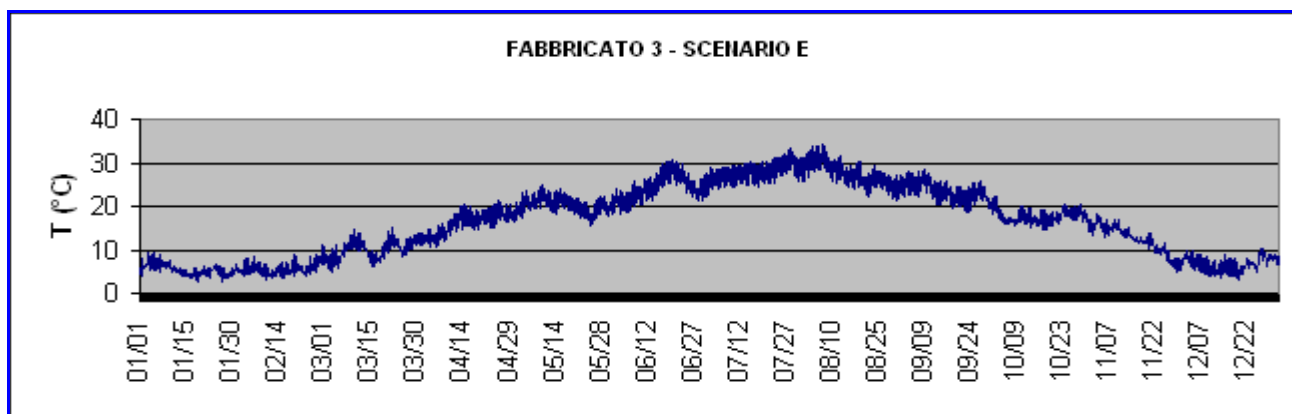


Figura 43 – Andamento della temperatura interna: Fabbricato 3 – Scenario E

- FABBRICATO 4

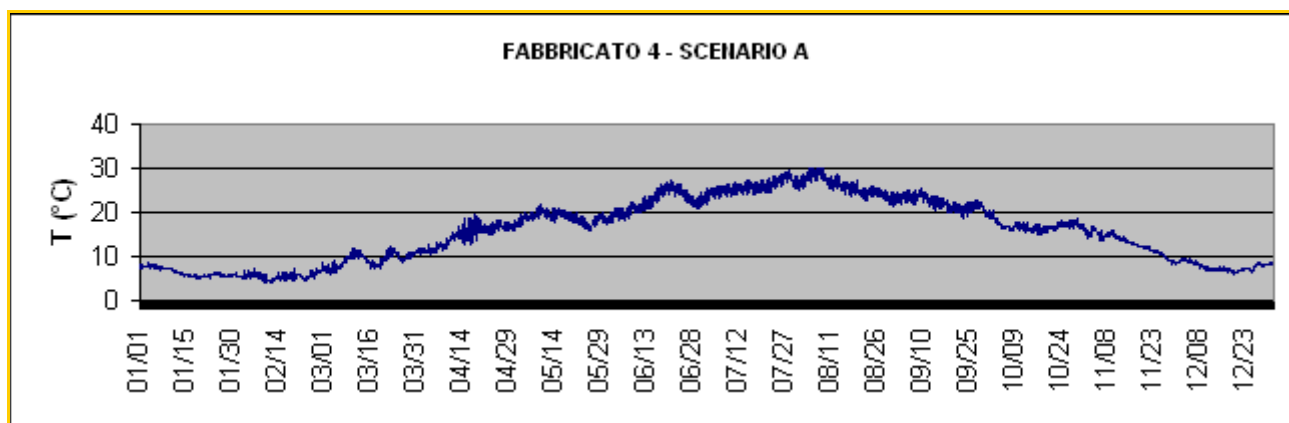


Figura 44 – Andamento della temperatura interna: Fabbricato 4 – Scenario A

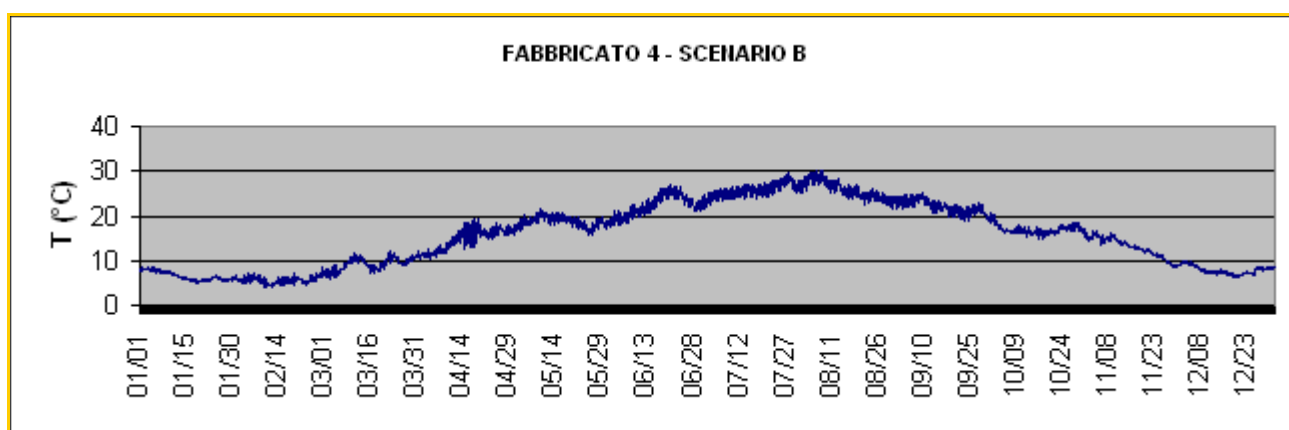


Figura 45 – Andamento della temperatura interna: Fabbricato 4 – Scenario B

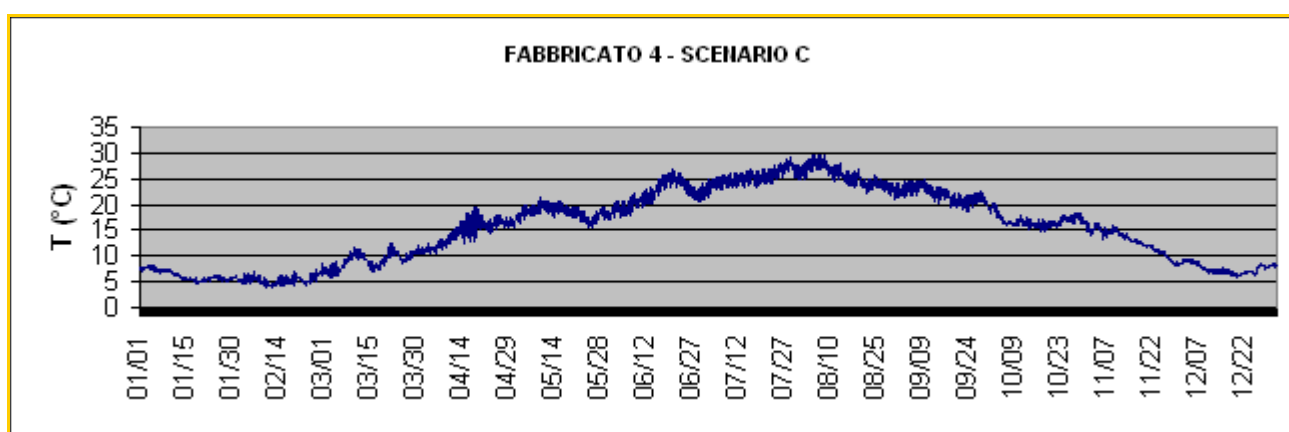


Figura 46 – Andamento della temperatura interna: Fabbricato 4 – Scenario C

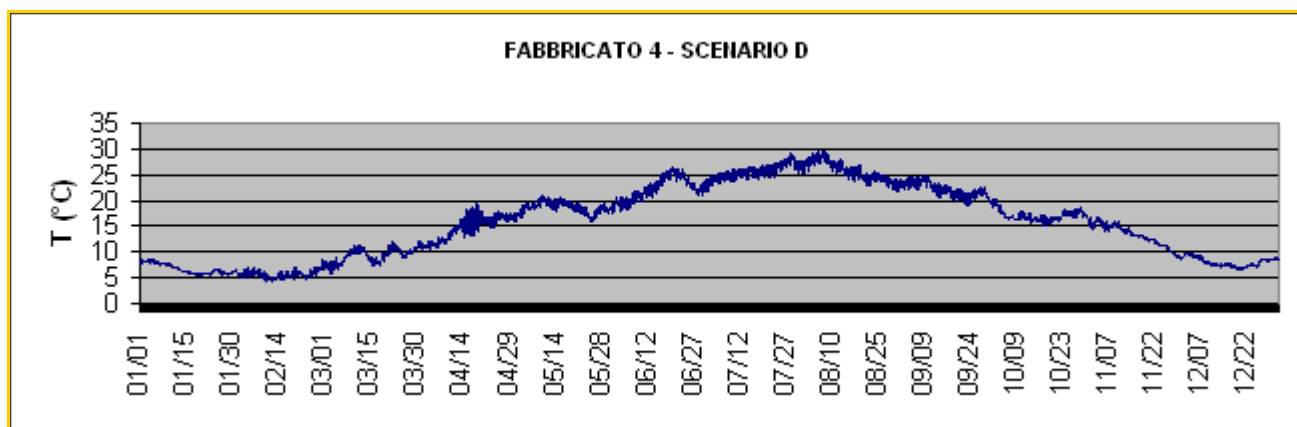


Figura 47 – Andamento della temperatura interna: Fabbricato 4 – Scenario D

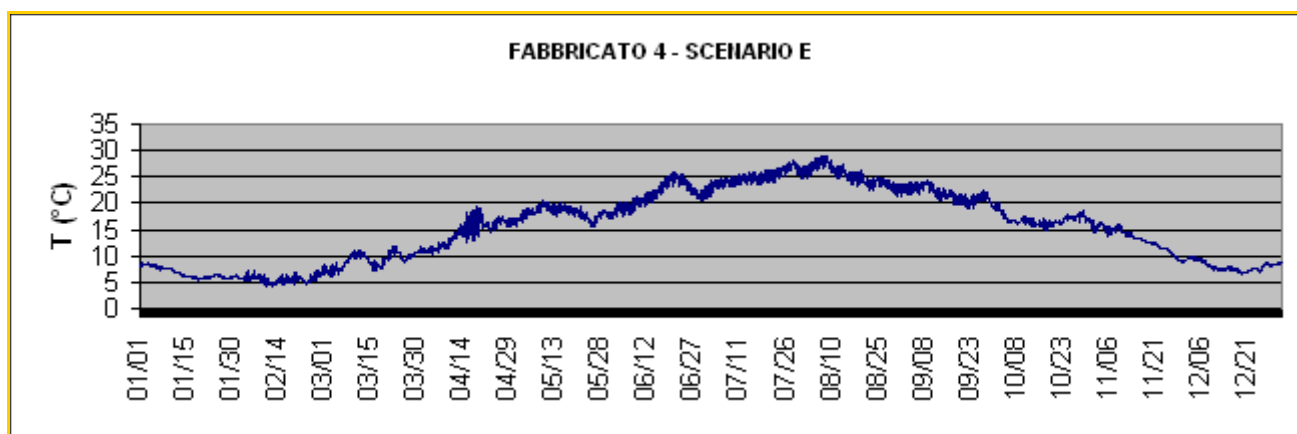


Figura 48 – Andamento della temperatura interna: Fabbricato 4 – Scenario E

4.1.1. Analisi del discomfort complessivo annuo

Dalla Figura 49 alla Figura 57, sono riportati i valori relativi al discomfort ottenuti dalle simulazioni energetiche; il discomfort calcolato sulle temperature eccessive (dh_{20}) è indicato in rosso, mentre quello calcolato sulle temperature inferiori al limite minimo (dh_{10}) è indicato in blu. Le prime cinque figure (dalla Figura 49 alla Figura 53) mostrano i 5 scenari considerati in questo lavoro e in ognuna di esse vengono riportati i valori ottenuti dai fabbricati simulati con quello scenario; analogamente le quattro figure successive (dalla Figura 54 alla Figura 57) mostrano gli stessi risultati, mettendo però a confronto per ogni fabbricato i risultati relativi ai cinque scenari. Nei grafici è inoltre visibile il discomfort, espresso in gradi ora in eccesso e in difetto, calcolato prendendo a riferimento la temperatura esterna ($dh_{est,20}$ e $dh_{est,10}$), esso è rappresentato mediante due linee tratteggiate (in rosso scuro quella relativa al discomfort in eccesso e in blu scuro quella relativa al discomfort in difetto) che intercettano l'asse delle ordinate sul valore corrispondente ($dh_{est,20} = 14\,888$ e $dh_{est,10} = 18\,560$).

La Tabella 21 riassume tutti i valori di discomfort, relativi ai quattro fabbricati nei cinque scenari, distinti tra valori di discomfort in eccesso (dh_{20}) indicati in rosso, valori di discomfort in difetto (dh_{10}) indicati in blu e valori di discomfort complessivi (dh_{tot}) indicati in nero.

		FABBRICATO 1			FABBRICATO 2			FABBRICATO 3			FABBRICATO 4		
		dh_{20}	dh_{10}	dh_{tot}	dh_{20}	dh_{10}	dh_{tot}	dh_{20}	dh_{10}	dh_{tot}	dh_{20}	dh_{10}	dh_{tot}
SCENARI	A	27607	20082	47690	28851	21426	50277	26881	17754	44636	12299	8201	20500
	B	27522	20633	48154	28149	21993	50142	26489	17612	44101	11973	7916	19890
	C	26262	20140	46402	27193	21809	49002	26062	17740	43802	11069	8603	19672
	D	19727	11720	31446	21503	12980	34482	20993	12338	33330	11828	7566	19394
	E	15292	8836	24127	16234	9631	25865	17931	9869	27800	10381	7616	17998

Tabella 21 – Sintesi dei risultati (discomfort in eccesso, in difetto e totale)

Analizzando lo scenario A (Figura 49), appare subito evidente che il fabbricato 4 è l'unico che, già nello stato di fatto, presenta valori dh_{20} inferiori a $dh_{est,20}$; in inverno, invece, oltre al fabbricato 4, anche il fabbricato 3 presenta temperature leggermente superiori alla temperatura esterna (e $dh_{10} < dh_{est,10}$).

In generale, i primi tre casi studio presentano comunque dei risultati molto simili, con valori di discomfort annuo pari a più del doppio di quello relativo al caso studio n.4, sia in eccesso che in difetto. Ciò è evidentemente dovuto al fatto che il fabbricato 4 è l'unico ad essere già stato ristrutturato e convertito a magazzino per la conservazione del vino e presenta perciò caratteristiche che garantiscono condizioni idonee a questo scopo, già nello scenario A.

Di seguito si riporta uno stralcio della Tabella 21, con le indicazioni dei valori relative allo scenario A:

	FABBRICATO 1			FABBRICATO 2			FABBRICATO 3			FABBRICATO 4		
	dh_{20}	dh_{10}	dh_{tot}	dh_{20}	dh_{10}	dh_{tot}	dh_{20}	dh_{10}	dh_{tot}	dh_{20}	dh_{10}	dh_{tot}
A	27607	20082	47690	28851	21426	50277	26881	17754	44636	12299	8201	20500

Scenario A – Valori di discomfort (stralcio della Tabella 21)

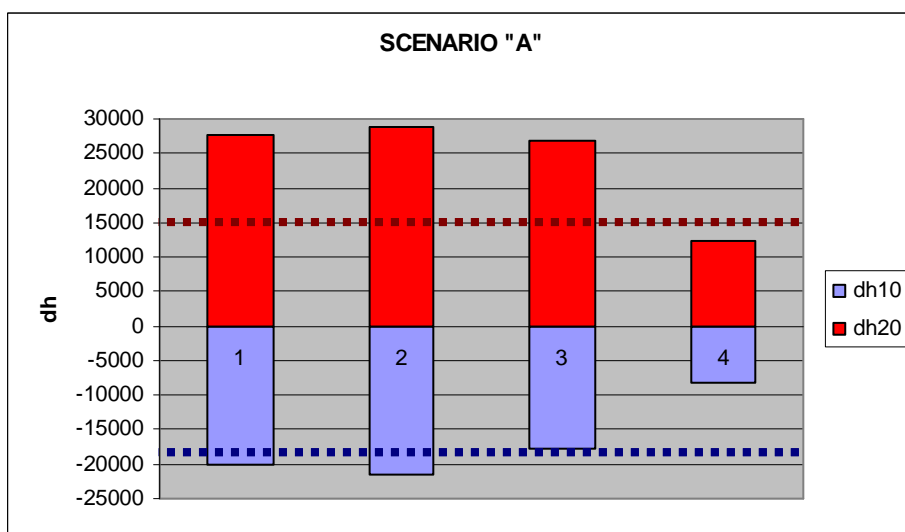


Figura 49 – Scenario A (stato di fatto): fabbricati 1, 2, 3, 4 e temperatura esterna (linee tratteggiate)

Analizzando invece i grafici di confronto dei quattro fabbricati sui singoli scenari che presentano interventi finalizzati al miglioramento delle prestazioni termiche dell'edificio (dalla Figura 50 alla Figura 53) e i grafici di confronto dei diversi scenari su ogni fabbricato (dalla Figura 54 alla Figura 57), è possibile valutare l'efficacia degli interventi proposti, in termini di riduzione del discomfort (dh_{20} e dh_{10}), sia rispetto allo stato di fatto, sia rispetto alla temperatura esterna.

Procedendo prima con l'analisi per scenari, si osserva che nello scenario B (Figura 50), che prevede l'aggiunta del cappotto esterno sulle pareti perimetrali (o la sostituzione del cappotto esistente, nel caso studio n.4), i valori si modificano come indicato di seguito:

	FABBRICATO 1			FABBRICATO 2			FABBRICATO 3			FABBRICATO 4		
	dh ₂₀	dh ₁₀	dh _{tot}	dh ₂₀	dh ₁₀	dh _{tot}	dh ₂₀	dh ₁₀	dh _{tot}	dh ₂₀	dh ₁₀	dh _{tot}
B	27522	20633	48154	28149	21993	50142	26489	17612	44101	11973	7916	19890

Scenario B – Valori di discomfort (stralcio della Tabella 21)

I risultati appaiono in generale molto simili a quelli dello scenario A. In particolare, per i fabbricati 1 e 2, si verifica addirittura un lieve aumento del discomfort in difetto nei periodi freddi, rispetto allo stato di fatto. Uno dei fattori che può incidere in maniera significativa riguarda la differenza dei valori di trasmittanza tra copertura e pareti, infatti in una struttura così bassa e compatta, l'isolante applicato sulle pareti perimetrali limita i benefici dovuti all'apporto termico del sole nelle ore più calde invernali; contemporaneamente il calore accumulato durante il giorno si disperde rapidamente dalla copertura non isolata, generando temperature, nel caso dei fabbricati 1 e 2, ancora più basse di quelle relative allo stato di fatto. Analogamente anche d'estate l'apporto del cappotto non è comunque sempre favorevole, infatti il calore dovuto all'irraggiamento solare, trasferito attraverso la copertura e le pareti stesse, genera temperature elevate nel fabbricato e l'isolamento termico, limitando il trasferimento di energia dall'interno all'esterno dell'edificio, contribuisce al mantenimento di alti livelli di temperatura, a differenza dello stato di fatto (scenario A), nel quale è comunque garantita la dispersione laterale.

Rispetto alla temperatura esterna, le considerazioni sono analoghe a quelle dello scenario A: il fabbricato 4 è l'unico, nei periodi caldi, che presenta un discomfort in eccesso inferiore a quello calcolato sulla temperatura esterna; mentre nei periodi freddi, oltre al fabbricato 4, anche il fabbricato 3 presenta temperature leggermente superiori alla temperatura esterna (e discomfort in difetto inferiore).

L'intervento ipotizzato nello scenario B, applicato singolarmente, non risulta quindi efficace né nei periodi caldi, né in quelli freddi.

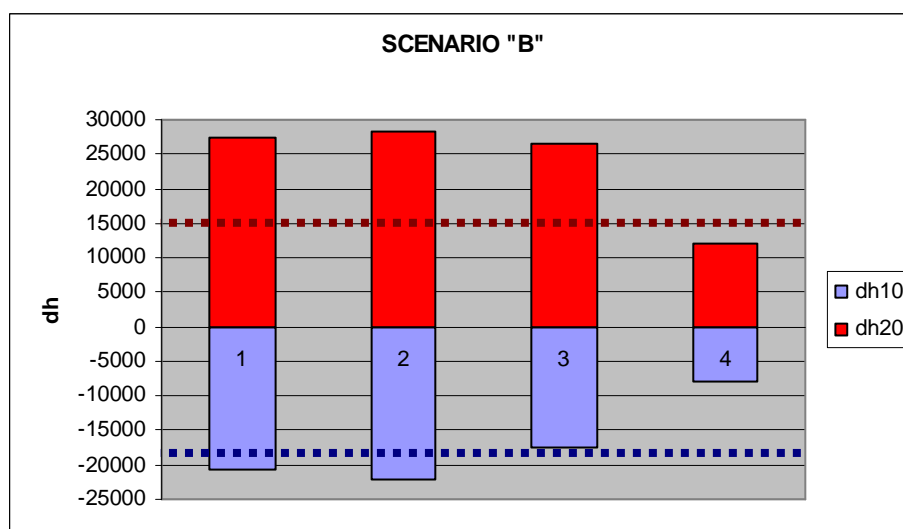


Figura 50 – Scenario B (cappotto): fabbricati 1, 2, 3, 4 e temperatura esterna (linee tratteggiate)

Lo scenario C (Figura 51), che prevede, rispetto allo stato di fatto, l'inserimento di un'ombreggiatura in rampicanti di vite sul lato ovest dei fabbricati, mostra una generale riduzione, seppur modesta, del discomfort in eccesso, sia rispetto allo scenario A che rispetto allo scenario B. Il discomfort in difetto, invece, è leggermente inferiore rispetto allo stato di fatto solo per i fabbricati 1 e 2, mentre per i fabbricati 3 e 4 si registra un modesto peggioramento. Ciò è chiaramente dovuto al fatto che l'ombreggiatura, seppur in foglie caduche, funge comunque da schermo parziale per il calore nel periodo invernale, mentre è evidente il suo apporto favorevole alla riduzione di temperatura interna durante il periodo estivo. Complessivamente, anche questa soluzione risulta comunque poco efficace: le variazioni in termini di discomfort annuo rispetto agli scenari precedenti sono minime e i primi tre casi studio continuano a presentare valori pari a più del doppio di quelli relativi al quarto caso studio.

Rispetto alla temperatura esterna, gli unici casi studio che presentano valori di discomfort (dh_{20} e dh_{10}) inferiori rimangono il 4 in estate e il 3 e il 4 in inverno.

Di seguito si riportano i valori di discomfort in eccessi, in difetto e complessivi, relativi allo scenario C:

FABBRICATO 1			FABBRICATO 2			FABBRICATO 3			FABBRICATO 4		
dh ₂₀	dh ₁₀	dh _{tot}	dh ₂₀	dh ₁₀	dh _{tot}	dh ₂₀	dh ₁₀	dh _{tot}	dh ₂₀	dh ₁₀	dh _{tot}

C	26262	20140	46402	27193	21809	49002	26062	17740	43802	11069	8603	19672
----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------

Scenario C – Valori di discomfort (stralcio della Tabella 21)

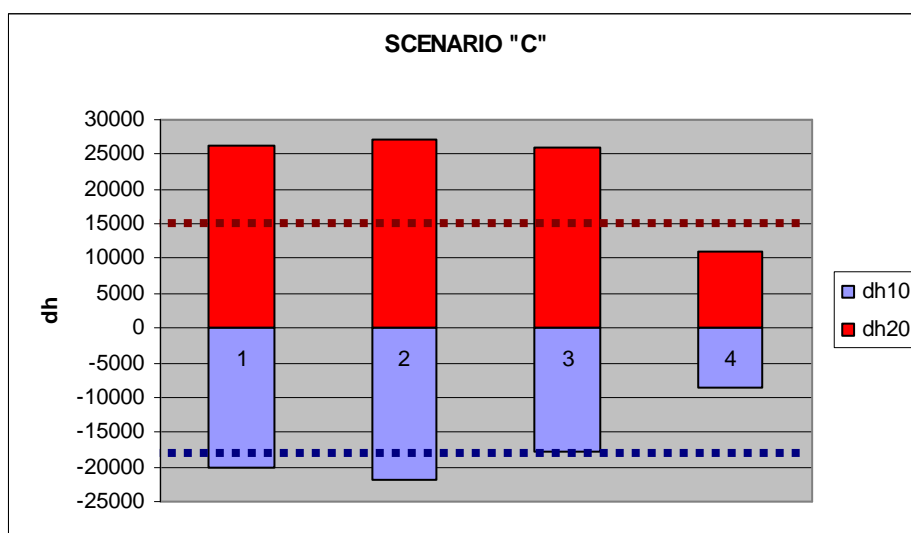


Figura 51 – Scenario C (ombreggiatura): fabbricati 1, 2, 3, 4 e temperatura esterna (linee tratteggiate)

Lo scenario D prevede l’inserimento di un isolamento in copertura in pannelli di fibra di legno, aggiunto, al di sotto del manto di copertura, nei fabbricati 1, 2 e 3, e in sostituzione all’isolamento esistente, in polistirene espanso, nel fabbricato 4.

Di seguito si riportano i valori di discomfort, stralciati dalla Tabella 21:

	FABBRICATO 1			FABBRICATO 2			FABBRICATO 3			FABBRICATO 4		
	dh ₂₀	dh ₁₀	dh _{tot}	dh ₂₀	dh ₁₀	dh _{tot}	dh ₂₀	dh ₁₀	dh _{tot}	dh ₂₀	dh ₁₀	dh _{tot}
D	19727	11720	31446	21503	12980	34482	20993	12338	33330	11828	7566	19394

Scenario D – Valori di discomfort (stralcio della Tabella 21)

Dall’analisi dei dati e dal grafico in Figura 52, appare subito evidente il netto miglioramento rispetto ai tre scenari precedenti, per quanto riguarda i primi tre fabbricati; solo il fabbricato 4 presenta un miglioramento in inverno e un peggioramento in estate rispetto allo scenario C, che in questo caso rappresenta però una combinazione di interventi, prevedendo comunque un isolamento della copertura (anche se in materiale differente), e fornisce perciò risultati migliori.

Circa l’evidente maggiore efficacia di un generico isolamento in copertura rispetto ad uno in parete, valgono le considerazioni già esposte per lo scenario B: per strutture di tali geometrie e dimensioni, l’isolamento in copertura limita l’afflusso di calore nelle ore calde estive, quando un isolamento in parete risulterebbe superfluo a causa dell’altezza del sole sull’orizzontale; allo stesso tempo un isolamento in copertura impedisce la dispersione verso l’alto del calore accumulato durante il giorno nei periodi freddi, fenomeno che non viene invece ostacolato da un isolamento delle pareti esterne.

Effettuando un confronto con la temperatura esterna, in questo caso tutti e quattro i fabbricati risultano avere prestazioni termiche migliori, relativamente ai periodi freddi; nei periodi estivi, invece, ciò continua a valere solo per il fabbricato 4. Poiché sulla conservazione del vino incidono in modo peggiore le alte temperature (che possono rovinare il prodotto), rispetto a quelle basse (che possono incidere sui tempi di fermentazione), ciò evidenzia come anche l'intervento proposto nello scenario D potrebbe non risultare risolutivo per un adeguamento dei primi tre fabbricati.

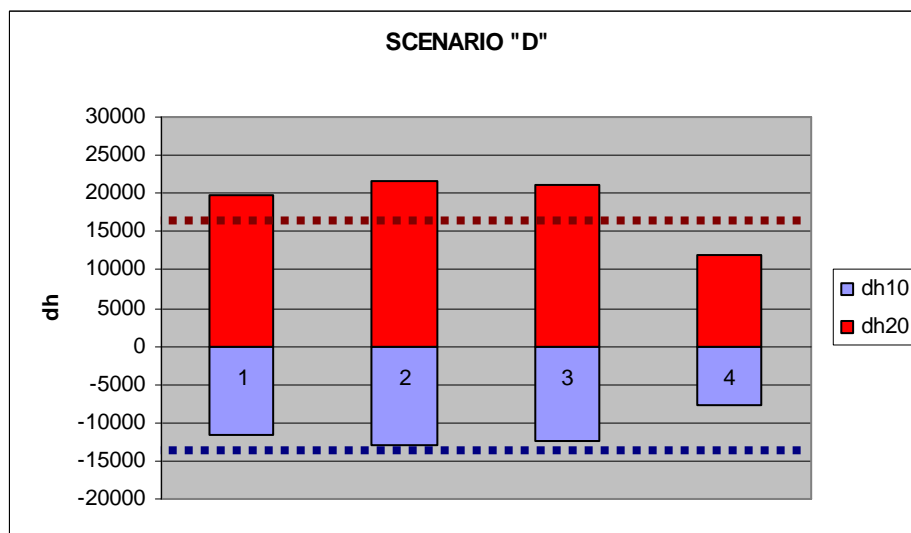


Figura 52 – Scenario D (isolamento in copertura): fabbricati 1, 2, 3, 4 e temperatura esterna (linee tratteggiate)

Lo scenario E rappresenta la combinazione dei quattro scenari precedenti.

Come era logico presupporre, i risultati migliorano ulteriormente rispetto allo scenario D. L'unica eccezione è rappresentata dal fabbricato 4, limitatamente al valore dh_{10} , che risulta leggermente maggiore del valore ottenuto nello scenario D. Ciò è dovuto al fatto che il fabbricato 4 è dotato già nello stato di fatto di isolamento in parete e in copertura, di conseguenza lo scenario E, per il fabbricato 4, tende a ricalcare l'andamento dei risultati ottenuti nello scenario C, che risultava peggiorativo nei confronti della situazione invernale, in quanto la struttura schermante limita l'afflusso dei raggi solari in inverno. Il fatto che lo scenario D fornisca valori di discomfort inferiori allo scenario B per il fabbricato 4, suggerisce inoltre che l'isolamento della copertura in fibre di legno (presente nello scenario D), a parità di spessore, abbia prestazioni migliori dell'isolamento della copertura in polistirene espanso (presente nello scenario B), come suggerito dal calcolo della trasmittanza.

Per i primi tre fabbricati, il miglioramento è invece significativo, non solo rispetto allo stato di fatto, ma anche rispetto allo scenario D.

I valori di discomfort relativi allo scenario E sono riportati di seguito:

	FABBRICATO 1			FABBRICATO 2			FABBRICATO 3			FABBRICATO 4		
	dh ₂₀	dh ₁₀	dh _{tot}	dh ₂₀	dh ₁₀	dh _{tot}	dh ₂₀	dh ₁₀	dh _{tot}	dh ₂₀	dh ₁₀	dh _{tot}
E	15292	8836	24127	16234	9631	25865	17931	9869	27800	10381	7616	17998

Scenario E – Valori di discomfort (stralcio della Tabella 21)

Come nel caso precedente, tutti i quattro casi studio presentano una temperatura interna più idonea alla conservazione del vino, rispetto a quella esterna, nei periodi freddi, mentre nei periodi caldi il fabbricato 4 è nuovamente l'unico a soddisfare questa condizione: in questo scenario, però, le differenze tra dh₂₀ e dh_{est,20}, per gli altri fabbricati, si abbassano notevolmente, scendendo sotto i 500 gradi ora annui nel fabbricato 1 e sotto 1 400 gradi ora annui nel fabbricato 2.

Questo suggerisce che, abbinando più interventi energeticamente migliorativi, è possibile migliorare il comportamento termico di un fabbricato rurale concepito per altro uso, garantendo condizioni termiche prossime a quelle necessarie per la conservazione del vino.

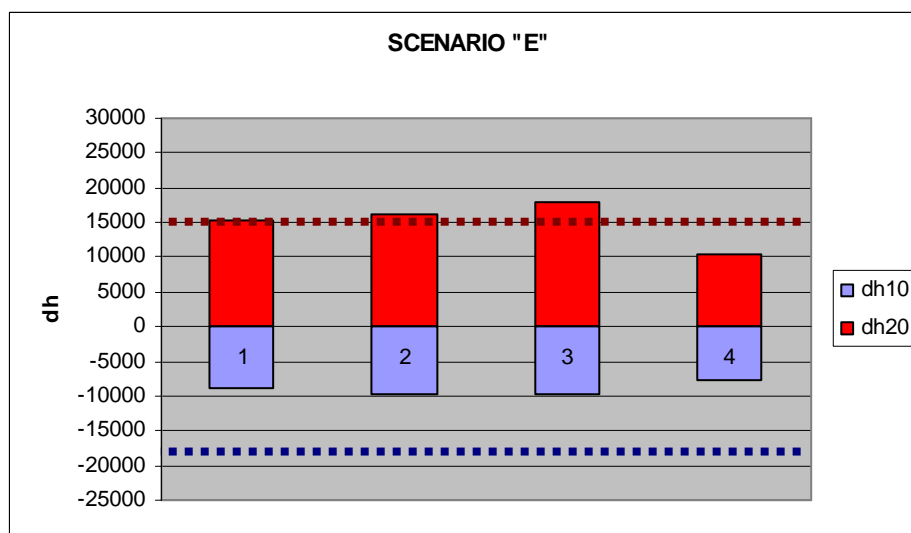


Figura 53 – Scenario E (combinazione A+B+C+D): fabbricati 1, 2, 3, 4 e temperatura esterna (linee tratteggiate)

Le stesse considerazioni finora esposte scaturiscono naturalmente anche procedendo con l'analisi per fabbricati, invece che per scenari.

Dalla Figura 54 alla Figura 57, i grafici mostrano le diverse soluzioni progettuali migliorative a confronto applicate ai singoli fabbricati: escludendo il fabbricato 4, per il quale valgono le osservazioni già esposte, per i fabbricati 1, 2 e 3 l'isolamento in copertura risulta essere l'intervento più efficace (scenario D), ulteriormente migliorato dalla combinazione con il cappotto in parete e l'inserimento dell'ombreggiatura (scenario E), che, presi singolarmente (scenari B e C),

evidenziano invece una riduzione trascurabile del discomfort, se non addirittura un peggioramento (in inverno).

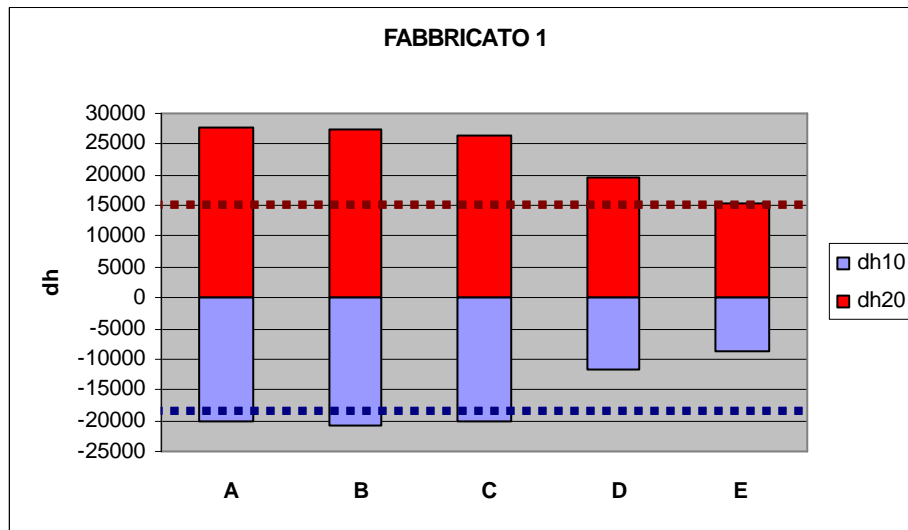


Figura 54 – Fabbricato 1: scenari A, B, C, D e F e temperatura esterna (linee tratteggiate)

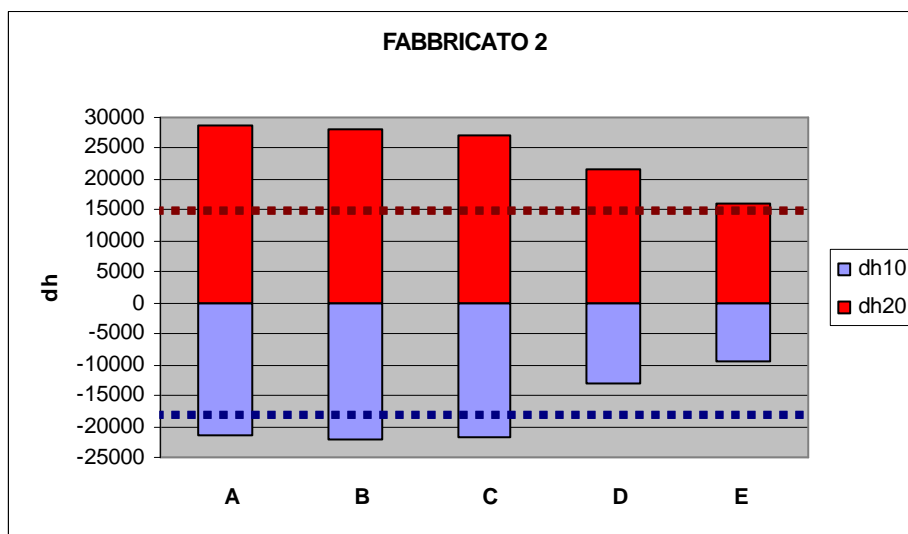


Figura 55 – Fabbricato 2: scenari A, B, C, D e F e temperatura esterna (linee tratteggiate)

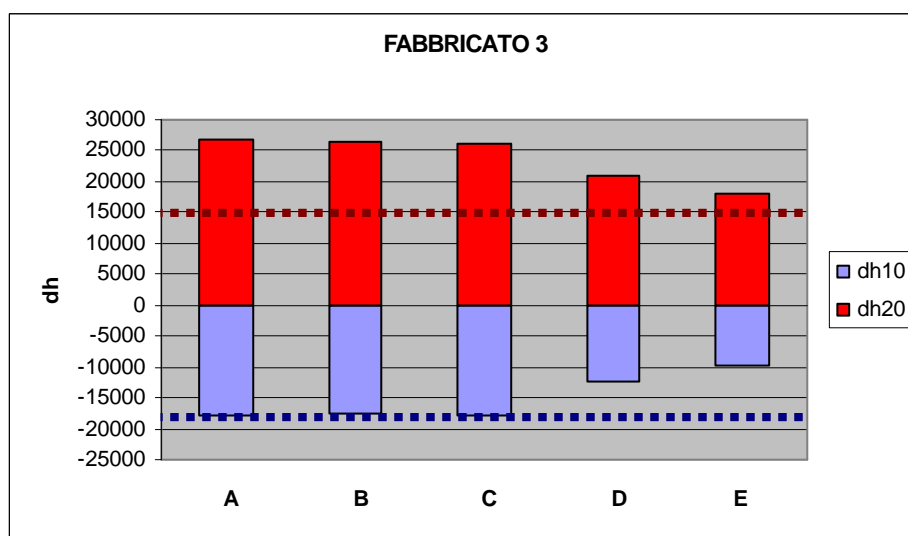


Figura 56 – Fabbricato 3: scenari A, B, C, D e F e temperatura esterna (linee tratteggiate)

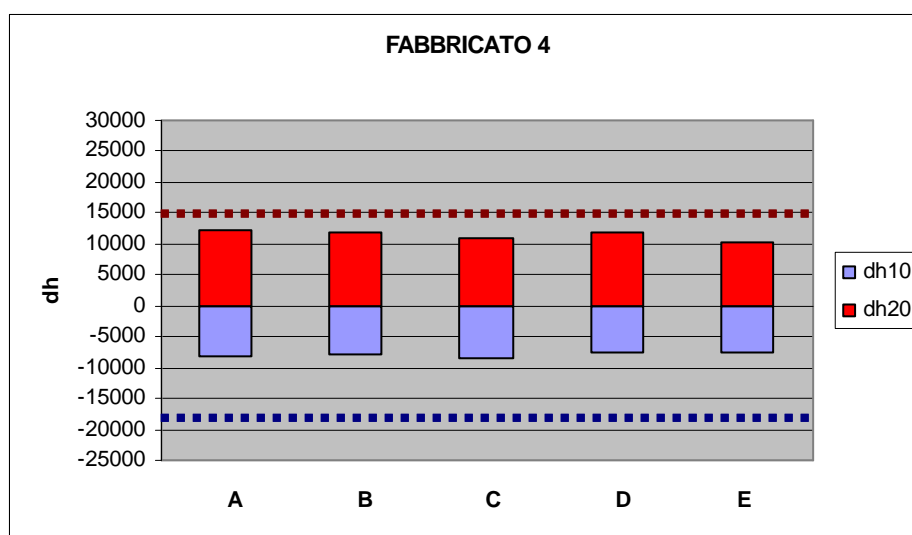


Figura 57 – Fabbricato 4: scenari A, B, C, D e F e temperatura esterna (linee tratteggiate)

I risultati ottenuti sui quattro fabbricati nei cinque scenari sono nuovamente riassunti nella Tabella 22. I risultati sono qui espressi come percentuale rispetto al discomfort calcolato sulla temperatura esterna: i valori inferiori al 100% (in grassetto) rappresentano perciò i casi in cui il discomfort calcolato sulla temperatura interna dei fabbricati è inferiore a quello calcolato sulla temperatura esterna. In grigio viene evidenziato lo scenario che comporta il valore minimo di discomfort (espresso in gradi ora annui) per ogni fabbricato, distinguendo tra periodo estivo (dh_{20}) e periodo invernale (dh_{10}), escludendo lo scenario E che, in quanto combinazione di tutti scenari precedenti, rappresenta sempre lo scenario migliore.

		FABBRICATO 1		FABBRICATO 2		FABBRICATO 3		FABBRICATO 4	
		dh ₂₀	dh ₁₀	dh ₂₀	dh ₁₀	dh ₂₀	dh ₁₀	dh ₂₀	dh ₁₀
SCENARI	A	185%	108%	194%	115%	181%	96%	83%	44%
	B	185%	111%	189%	118%	178%	95%	80%	43%
	C	176%	109%	183%	118%	175%	96%	74%	46%
	D	133%	63%	144%	70%	141%	66%	79%	41%
	E	103%	48%	109%	52%	120%	53%	70%	41%

Tabella 22 – Sintesi dei risultati (discomfort in eccesso e in difetto, espresso in percentuale rispetto al discomfort calcolato sulla temperatura esterna)

Come anticipato, l'intervento migliore tra quelli testati, preso singolarmente, appare complessivamente l'isolamento della copertura in fibra di legno (scenario D), che presenta $dh_{10} < dh_{est,10}$ in tutti i fabbricati, ma $d_{20} < dh_{est,20}$ solo nel fabbricato 4. Il fabbricato 4 rappresenta inoltre un'ulteriore eccezione, in quanto, in questo caso, l'intervento migliore limitatamente al periodo estivo appare l'inserimento dell'ombreggiatura verde: ciò è dovuto al fatto che, nello scenario C, il fabbricato 4 è comunque dotato di isolamento in copertura e a parete, per cui, per tale fabbricato, lo scenario C rappresenta comunque una combinazione di soluzioni.

L'intervento applicato nello scenario D è ulteriormente migliorato dalla combinazione con il cappotto in parete e l'inserimento dell'ombreggiatura (scenario E), che, presi singolarmente (scenari B e C), evidenziano invece una riduzione non significativa del discomfort, in assoluto e rispetto alla temperatura esterna, se non addirittura un peggioramento (in inverno).

Mediamente, gli scenari ordinati secondo l'efficacia valutata sulle prestazioni termiche dell'edificio sono quindi i seguenti:

- per il periodo estivo:
 1. combinazione di scenari
 2. isolamento in copertura
 3. ombreggiatura
 4. isolamento in parete
 5. stato di fatto
- per il periodo invernale:
 1. combinazione di scenari
 2. isolamento in copertura
 3. stato di fatto
 4. ombreggiatura

5. isolamento in parete

Per completezza, si riportano infine, nella Tabella 23, i valori del discomfort totale ($dh_{tot} = dh_{20} + dh_{10}$): complessivamente, quindi, lo scenario D, anche preso singolarmente, presenta già valori prossimi a quelli calcolati sulla temperatura esterna, inferiori al 100% nei fabbricati 1 e 4, pari al 100% nel fabbricato 3 e di poco superiore al 100% nel fabbricato 2.

Tale dato può non rappresentare una corretta sintesi dell'analisi del retrofit nei vari scenari, in quanto, come già accennato, ai fini di una corretta conservazione del vino, le temperature alte, oltre i 20°C, possono risultare molto più pericolose delle temperature basse, inferiori ai 10°C, le quali in realtà non determinano un danneggiamento del vino, ma potrebbero incidere sui tempi del processo di affinamento.

		FABBR. 1	FABBR. 2	FABBR. 3	FABBR. 4
		dh_{tot}	dh_{tot}	dh_{tot}	dh_{tot}
SCENARI	A	143%	150%	133%	61%
	B	144%	150%	132%	59%
	C	139%	147%	131%	59%
	D	94%	103%	100%	58%
	E	30%	31%	83%	54%

Tabella 23 – Sintesi dei risultati (discomfort complessivi complessivo, espresso in percentuale rispetto al discomfort calcolato sulla temperatura esterna)

4.1.2. Analisi della stabilità termica: scostamenti dall'intervallo di comfort termico

Nel capitolo precedente, è stata svolta un'analisi dei cinque scenari applicati ai quattro casi studi, considerando unicamente il discomfort calcolato come numero complessivo di gradi ora in eccesso o in difetto rispetto un intervallo di temperatura di riferimento nell'arco di un anno e ritenendo migliori gli scenari in cui si verifica la massima riduzione di questi valori. I soli valori dh_{20} , dh_{10} e dh_{tot} non sono però sufficienti a determinare l'effettiva idoneità dell'involucro edilizio ai fini della conservazione del vino. Un altro aspetto fondamentale è rappresentato dalla stabilità delle condizioni di comfort e dall'entità dei picchi di discomfort: un dato valore di discomfort può essere generato da situazioni completamente differenti come ad esempio temperature molto al di fuori dell'intervallo prescelto per brevi periodi o, al contrario, temperature leggermente all'esterno dell'intervallo ma per periodi molto lunghi; in questi due casi, gli effetti sul vino potrebbero essere molto diversi.

È stata quindi condotta una seconda analisi, prendendo in considerazione i singoli scarti (equazioni 1 e 2), lo scarto quadratico medio (equazioni 5 e 6), le ore complessive di discomfort in un anno ($h_{disc,20}$ e $h_{disc,10}$) e le temperature massime e minime (t_{max} , t_{min}).

Dall'analisi delle singole temperature interne orarie simulate, riportate per esteso nell'allegato A, si possono estrapolare le temperature massime e minime, calcolate sull'intero anno, relative a ciascuno scenario per ogni fabbricato e il numero complessivo di ore di discomfort in un anno.

I risultati relativi alle temperature minime e massime (Tabella 24) ricalcano quelli ottenuti in precedenza dall'analisi del discomfort in termini di gradi ora annui: i valori più bassi sono infatti relativi agli scenari E e D. Anche nello scenario più performante, però, le temperature interne raggiungono valori massimi, in estate, tra i 29°C e i 34°C. Tali valori, nonostante il sostanziale miglioramento dell'involucro rispetto allo stato di fatto, mostrano che il fabbricato ristrutturato potrebbe comunque non essere idoneo, qualora l'entità del picco fosse eccessiva per la tipologia di vino considerata. È evidente comunque che i primi tre scenari raggiungono temperature massime estive molto elevate, soprattutto per il fabbricato 2 (fino a 50°C). In inverno, invece, i picchi sono di minore entità e le temperature minime toccano i 3/4°C nello scenario migliore (scenario E) e -3/-7°C nello scenario peggiore (scenario A). Anche in questo caso compete all'enologo valutare l'effetto di simili temperature sul processo fermentativo del vino.

		FABBRICATO 1		FABBRICATO 2		FABBRICATO 3		FABBRICATO 4	
		t _{max}	t _{min}	t _{max}	t _{min}	t _{max}	t _{min}	t _{max}	t _{min}
SCENARI	A	46.57	-4.52	50.30	-6.57	44.62	-3.36	30.21	3.99
	B	46.40	-4.52	48.49	-5.96	42.47	-2.49	30.03	4.09
	C	46.18	-4.53	49.89	-6.70	43.94	-3.24	29.70	3.85
	D	34.76	1.98	38.55	0.03	36.95	0.85	29.72	4.28
	E	32.66	3.49	33.80	2.77	34.01	2.62	29.06	4.27

Tabella 24 – Temperature massime e minime, calcolate sull'intero anno

Analizzando invece le ore di discomfort complessive in un anno (Tabella 25), si nota che lo scenario D, altamente migliorativo in termini di riduzione del discomfort espresso in gradi ora annui, presenta invece, nel periodo estivo, valori h_{disc} tra i più alti (il più alto in assoluto per i fabbricati 1 e 2, pari rispettivamente a 3 461 e 3 385 ore), mentre nel periodo invernale presenta i valori più bassi dopo lo scenario E (2 730 ore per il fabbricato 1, 2 807 ore per il fabbricato 2, 2 752 ore per il fabbricato 3 e 2 719 ore per il fabbricato 4).

Ciò significa che l'intervento di isolamento della copertura in pannelli di fibra di legno, limitatamente al periodo estivo, porta a una riduzione del discomfort espresso in gradi ora annui, ma ad un aumento delle singole ore di discomfort; quindi il vino è conservato a temperature non idonee per un tempo più lungo, anche se mediamente tali temperature sono più basse.

Sempre nel periodo estivo, l'intervento che comporta invece mediamente la maggior riduzione delle ore di discomfort in un anno è lo scenario C (2 292 ore per il fabbricato 1, 3 010 ore per il fabbricato 2, 3 380 ore per il fabbricato 3 e 2 757 ore per il fabbricato 4): con l'ombreggiatura verde il vino è quindi conservato a temperature mediamente più alte rispetto allo scenario D, ma per un tempo più breve.

In inverno, invece, l'intervento di isolamento della copertura in pannelli di fibra di legno ha una maggior efficacia e risulta il migliore tra i primi quattro scenari, mentre il peggiore è la schermatura verde, per i fabbricati 2, 3 e 4, e il cappotto, per il fabbricato 1. Tale risultato evidenzia come l'intervento previsto nello scenario D presenti in inverno delle condizioni globalmente migliori rispetto agli altri scenari.

		FABBRICATO 1		FABBRICATO 2		FABBRICATO 3		FABBRICATO 4	
		$h_{disc,20}$	$h_{disc,10}$	$h_{disc,20}$	$h_{disc,10}$	$h_{disc,20}$	$h_{disc,10}$	$h_{disc,20}$	$h_{disc,10}$
SCENARI	A	3362	3101	3100	3208	3385	3026	2874	2732
	B	3334	3133	3236	3211	3491	3006	2838	2732
	C	3292	3103	3010	3248	3380	3026	2757	2758
	D	3461	2730	3385	2807	3458	2752	2834	2719
	E	3168	2646	3205	2696	3353	2662	2695	2728

Tabella 25 – Ore complessive di discomfort in un anno

Gli ultimi due parametri analizzati sono la temperatura media (equazioni 3 e 4) e lo scarto quadratico medio (equazioni 5 e 6), entrambi calcolati sulle sole ore di discomfort (in eccesso e in difetto): i risultati ricalcano quelli ottenuti dall'analisi del discomfort complessivo espresso in gradi ora annui, in quanto gli scenari E e D risultano decisamente migliori rispetto ai primi tre scenari, sia in inverno che in estate.

In particolare, i bassi valori di σ_{20} e σ_{10} ottenuti negli scenari D ed E dimostrano che mediamente, in questi due scenari, la temperatura è più stabile, in quanto i quadrati delle singole temperature si discostano meno dal quadrato della temperatura media (Tabella 26). I bassi valori di $t_{media,20}$ e $t_{media,10}$ mostrano inoltre che la temperatura, oltre ad essere più stabile, è anche mediamente più bassa (Tabella 27).

		FABBRICATO 1		FABBRICATO 2		FABBRICATO 3		FABBRICATO 4	
		σ_{20}	σ_{10}	σ_{20}	σ_{10}	σ_{20}	σ_{10}	σ_{20}	σ_{10}
SCENARI	A	5.88	3.22	7.02	3.67	5.51	3.03	2.39	1.43
	B	5.90	3.27	6.46	3.55	4.91	2.79	2.33	1.43
	C	5.78	3.21	6.90	3.72	5.34	2.99	2.22	1.46
	D	3.42	1.77	4.23	2.31	3.87	2.06	2.28	1.42
	E	2.79	1.52	3.05	1.68	3.24	1.67	2.07	1.42

Tabella 26 – Scarti quadratici medi calcolati sulle ore di discomfort

		FABBRICATO 1		FABBRICATO 2		FABBRICATO 3		FABBRICATO 4	
		$t_{media,20}$	$t_{media,10}$	$t_{media,20}$	$t_{media,10}$	$t_{media,20}$	$t_{media,10}$	$t_{media,20}$	$t_{media,10}$
SCENARI	A	28.21	3.52	29.31	3.32	27.94	4.13	24.28	7.00
	B	28.25	3.41	28.70	3.15	27.59	4.14	24.22	7.10
	C	27.98	3.51	29.03	3.29	27.71	4.14	24.01	6.88
	D	25.70	5.71	26.35	5.38	26.07	5.52	24.17	7.22
	E	24.83	6.66	25.07	6.43	25.35	6.29	23.85	7.21

Tabella 27 – Temperature medie di discomfort

Nei grafici che seguono (dalla Figura 58 alla Figura 62) sono riportati, per ogni scenario, le temperature medie relative alle ore di discomfort (già esplicitate nella Tabella 27) dei quattro casi studio, distinguendo tra temperatura media calcolata sul discomfort in eccesso ($t_{media,20}$, indicata in rosso) e temperatura media calcolata sul discomfort in difetto ($t_{media,10}$, indicata in blu). Nei grafici sono anche riportati i relativi scarti quadratici medi, rappresentati mediante barre di errore sui corrispettivi valori di temperatura media.

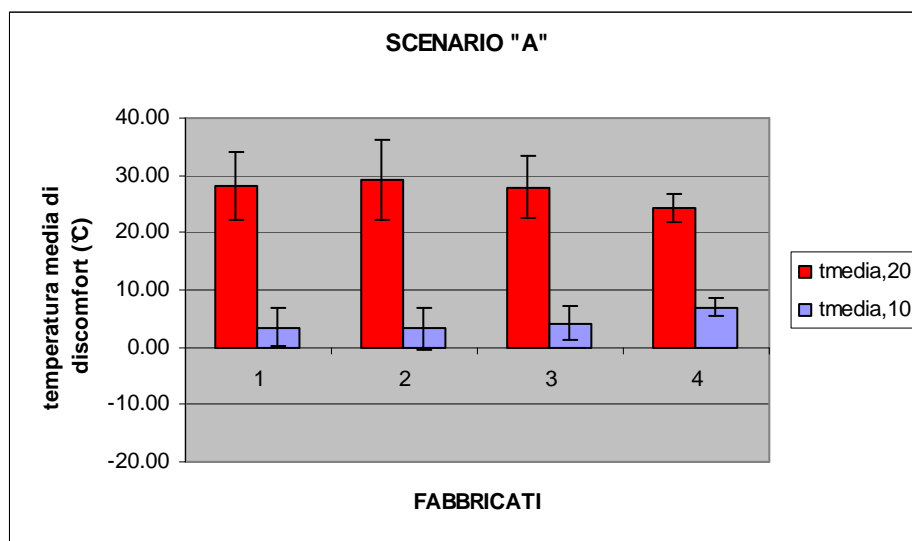


Figura 58 – Temperature medie calcolate nelle ore di discomfort in eccesso (in rosso) e in difetto (in blu) e relativi scarti quadratici medi (scenario A)

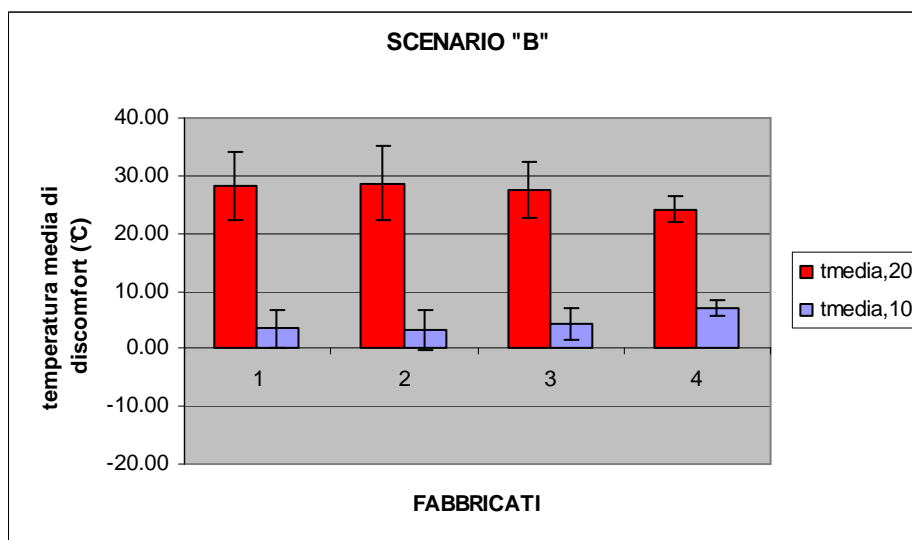


Figura 59 – Temperature medie calcolate nelle ore di discomfort in eccesso (in rosso) e in difetto (in blu) e relativi scarti quadratici medi (scenario B)

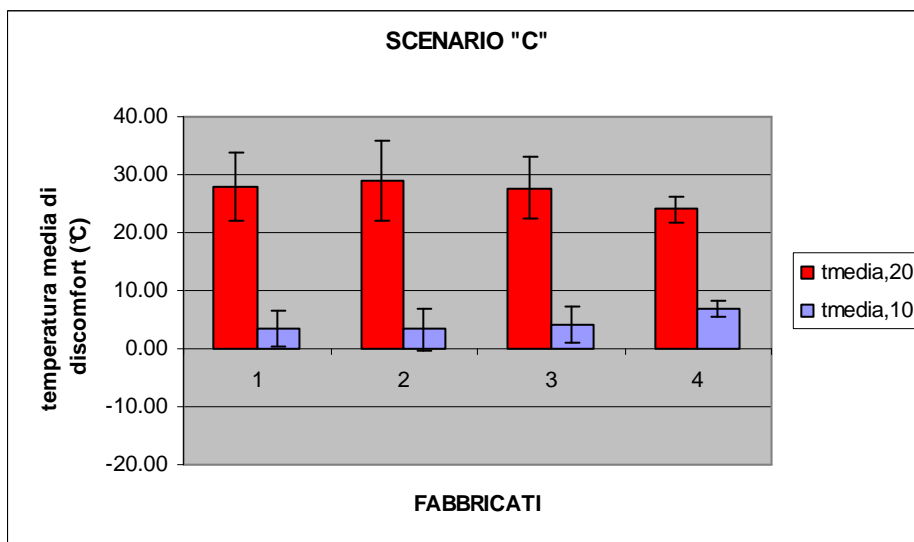


Figura 60 – Temperature medie calcolate nelle ore di discomfort in eccesso (in rosso) e in difetto (in blu) e relativi scarti quadratici medi (scenario C)

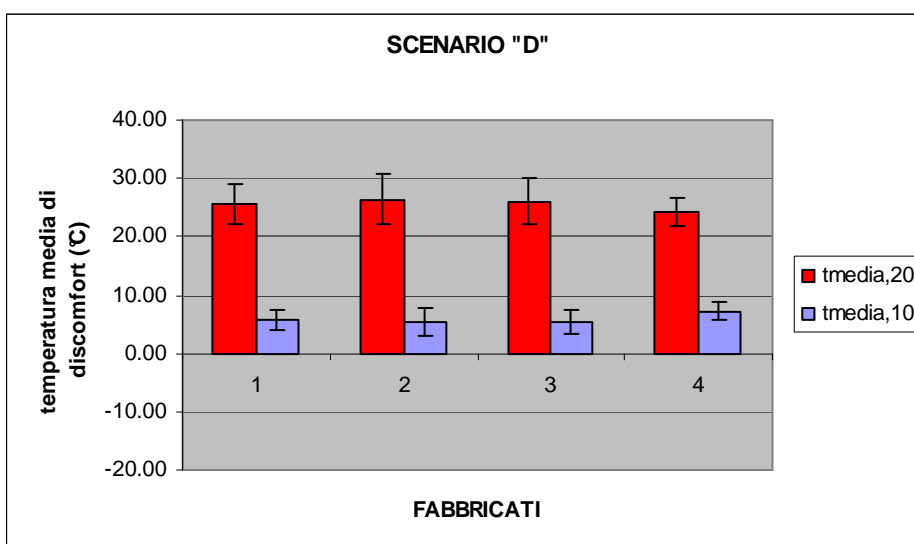


Figura 61 – Temperature medie calcolate nelle ore di discomfort in eccesso (in rosso) e in difetto (in blu) e relativi scarti quadratici medi (scenario D)

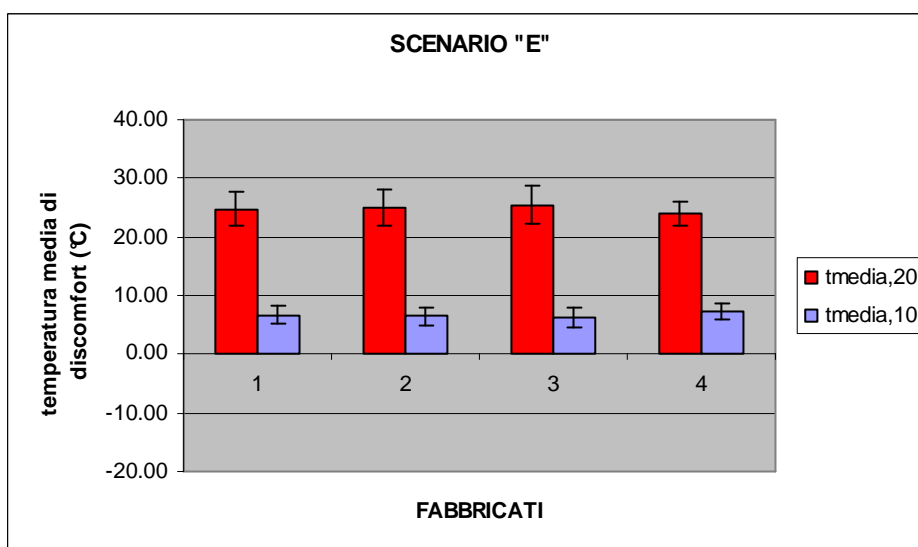


Figura 62 – Temperature medie calcolate nelle ore di discomfort in eccesso (in rosso) e in difetto (in blu) e relativi scarti quadratici medi (scenario E)

4.1.3. Considerazioni finali

Analizzando insieme tutti i parametri finora esposti, è possibile avere un quadro completo dell'effetto dei retrofit sulle condizioni termiche dei fabbricati studiati: dalla Tabella 28 alla Tabella 31, si riporta una sintesi di tutti i risultati per ogni fabbricato, con l'indicazione del discomfort espresso in gradi ora annui in eccesso e in difetto (dh_{20} e dh_{10}), delle temperature medie di discomfort in eccesso e in difetto ($t_{media,20}$ e $t_{media,10}$), dello scarto quadratico medio calcolato sulle temperature di discomfort in eccesso e in difetto (σ_{20} e σ_{10}), della temperatura massima e di quella minima (t_{max} e t_{min}) e del numero di ore di discomfort in eccesso e in difetto ($h_{disc,20}$ e $h_{disc,10}$).

In particolare si nota che, per lo scenario D, la temperatura media di discomfort è relativamente vicina all'intervallo di comfort (spetta comunque all'enologo verificarne l'ammissibilità), i picchi massimi sono inferiori a quelli relativi ai primi quattro scenari e la stabilità è la migliore, il discomfort complessivo annuo (espresso in gradi ora) è il minore (dopo lo scenario E), ma il numero di ore di discomfort in un anno è il massimo tra tutti gli scenari.

L'analisi effettuata è finalizzata all'individuazione dei parametri termici, indispensabile per una corretta analisi dell'efficacia degli interventi di retrofit; ulteriori considerazioni più specifiche spettano ad altre professionalità coinvolte nel processo viti-vinicolo, tra cui l'enologo, che dovrà pronunciarsi circa le precise caratteristiche dell'ambiente di conservazione, in relazione alla tipologia di vino interessata: al variare del tipo di vino, potrà infatti essere preferibile un numero di ore di discomfort inferiore, piuttosto che una riduzione del discomfort annuo espresso in gradi ora, una riduzione del valore dei picchi massimi o una maggiore stabilità delle temperature.

		FABBRICATO 1									
		dh ₂₀	dh ₁₀	t _{media,20}	t _{media,10}	σ ₂₀	σ ₁₀	t _{max}	t _{min}	h _{disc,20}	h _{disc,10}
SCENARI	A	27607	20082	28.21	3.52	5.88	3.22	46.57	-4.52	3362	3101
	B	27522	20633	28.25	3.41	5.90	3.27	46.40	-4.52	3334	3133
	C	26262	20140	27.98	3.51	5.78	3.21	46.18	-4.53	3292	3103
	D	19727	11720	25.70	5.71	3.42	1.77	34.76	1.98	3461	2730
	E	15292	8836	24.83	6.66	2.79	1.52	32.66	3.49	3168	2646

Tabella 28 – Sintesi finale (fabbricato 1)

		FABBRICATO 2									
		dh ₂₀	dh ₁₀	t _{media,20}	t _{media,10}	σ ₂₀	σ ₁₀	t _{max}	t _{min}	h _{disc,20}	h _{disc,10}
SCENARI	A	28851	21426	29.31	3.32	7.02	3.67	50.30	-6.57	3100	3208
	B	28149	21993	28.70	3.15	6.46	3.55	48.49	-5.96	3236	3211
	C	27193	21809	29.03	3.29	6.90	3.72	49.89	-6.70	3010	3248
	D	21503	12980	26.35	5.38	4.23	2.31	38.55	0.03	3385	2807
	E	16234	9631	25.07	6.43	3.05	1.68	33.80	2.77	3205	2696

Tabella 29 – Sintesi finale (fabbricato 2)

		FABBRICATO 3									
		dh ₂₀	dh ₁₀	t _{media,20}	t _{media,10}	σ ₂₀	σ ₁₀	t _{max}	t _{min}	h _{disc,20}	h _{disc,10}
SCENARI	A	26881	17754	27.94	4.13	5.51	3.03	44.62	-3.36	3385	3026
	B	26489	17612	27.59	4.14	4.91	2.79	42.47	-2.49	3491	3006
	C	26062	17740	27.71	4.14	5.34	2.99	43.94	-3.24	3380	3026
	D	20993	12338	26.07	5.52	3.87	2.06	36.95	0.85	3458	2752
	E	17931	9869	25.35	6.29	3.24	1.67	34.01	2.62	3353	2662

Tabella 30 – Sintesi finale (fabbricato 3)

		FABBRICATO 4									
		dh ₂₀	dh ₁₀	t _{media,20}	t _{media,10}	σ ₂₀	σ ₁₀	t _{max}	t _{min}	h _{disc,20}	h _{disc,10}
SCENARI	A	12299	8201	24.28	7.00	2.39	1.43	30.21	3.99	2874	2732
	B	11973	7916	24.22	7.10	2.33	1.43	30.03	4.09	2838	2732
	C	11069	8603	24.01	6.88	2.22	1.46	29.70	3.85	2757	2758
	D	11828	7566	24.17	7.22	2.28	1.42	29.72	4.28	2834	2719
	E	10381	7616	23.85	7.21	2.07	1.42	29.06	4.27	2695	2728

Tabella 31 – Sintesi finale (fabbricato 4)

Quanto esposto finora indica quindi un valido metodo per la valutazione degli interventi di retrofit sui fabbricati rurali da convertire ad uso magazzino per la conservazione del vino, basati

unicamente su tecniche passive ed evitando quindi di prevedere l'inserimento di impianti di controllo termico all'interno dei locali.

Inoltre, anche se i risultati ottenuti necessitano di ulteriori informazioni legate alle valutazioni di altre professionalità tra cui l'enologo, il metodo illustrato permette comunque di ricavare alcuni dei dati indispensabili per effettuare tali valutazioni, oltre a mettere in luce alcune considerazioni interessanti.

Una di queste è che i risultati ottenuti mediante un software di simulazione termica, relativi alle temperature interne del fabbricato, comportano valutazioni differenti da quelle derivanti da una semplice analisi della trasmittanza dell'involucro, così come indicato dalla normativa. Il calcolo della trasmittanza del pacchetto di parete, effettuato all'inizio della presente ricerca, mette infatti in luce che l'intervento di isolamento a cappotto comporta un netto miglioramento delle prestazioni termiche rispetto allo stato di fatto, oltre che un adeguamento della struttura alle normative energetiche vigenti; al contrario l'analisi delle temperature interne, ottenute dalle simulazioni, mostra la scarsa efficacia di tale intervento, dovuta alle motivazioni già esposte in precedenza. Questo risultato mostra quanto possa essere utile utilizzare il diverso approccio descritto nel presente lavoro per condurre un'analisi del retrofit negli edifici.

Un'ulteriore osservazione riguarda il fatto che lo scenario D fornisce valori di discomfort inferiori allo scenario B per il fabbricato 4: ciò suggerisce che l'isolamento della copertura in fibre di legno (presente nello scenario D), a parità di spessore, sia migliore dell'isolamento della copertura in polistirene espanso (presente nello scenario B). L'ipotesi è stata confermata effettuando due ulteriori simulazioni, a partire dallo scenario A del fabbricato 1, che è stato scelto a titolo di esempio, ma i cui risultati sono ragionevolmente estendibili anche ad altri casi studio di simili dimensioni: nella prima simulazione è stato previsto un isolamento in pannelli di polistirene espanso, di 12 cm di spessore, sia in parete che in copertura; nella seconda simulazione è stato invece previsto un isolamento, sia in parete che in copertura, in pannelli di fibra di legno, sempre di 12 cm di spessore. In questo modo sono stati messi direttamente a confronto i due materiali isolanti. I risultati, riportati per esteso nell'allegato A, mostrano una riduzione dei valori dh_{10} e dh_{20} , seppur modesta, nella seconda simulazione (16 374 dh contro 16 275 dh in estate e 8 905 dh contro 8 764 dh in inverno), supportando la tesi che l'isolamento in pannelli in fibra di legno sia complessivamente preferibile, in termini di riduzione del discomfort annuo, all'isolamento in polistirene espanso.

L'analisi svolta mostra infine un ridotto contributo dell'intervento di ombreggiatura verde; data però la sua semplicità di realizzazione, se ne può valutare la convenienza unitamente al solo isolamento in copertura, eventualmente estendendo la sua applicazione alla parete sud e/o alla copertura, prevedendo elementi schermanti di geometrie differenti da quelle ipotizzate.

4.2. Analisi degli scenari in presenza di impianti di controllo termico

4.2.1. Analisi degli scenari

In presenza di impianti di controllo termico, il parametro utilizzato per il confronto dei diversi scenari è il fabbisogno energetico per la climatizzazione degli ambienti riferito all'unità di volume (valore espresso in kWh/m³). Poiché tutti i risultati riguardanti il fabbisogno energetico, legato agli impianti di raffrescamento e di riscaldamento, sono rapportati all'unità di volume dei fabbricati, i risultati sono immediatamente confrontabili.

Dalla Figura 63 alla Figura 67, vengono mostrati i grafici del fabbisogno energetico relativo all'impianto di riscaldamento (in rosso) e di raffrescamento (in blu), ponendo a confronto i quattro fabbricati per ogni scenario. Nei successivi quattro grafici (dalla Figura 68 alla Figura 71) vengono invece mostrati gli stessi valori, ma ponendo a confronto i cinque scenari per ogni fabbricato.

Nella Tabella 32 sono riportati i valori relativi al fabbisogno energetico dei quattro fabbricati nei cinque scenari: in rosso sono indicati i fabbisogni energetici legati all'impianto di riscaldamento, in blu quelli relativi all'impianto di raffrescamento e in nero i valori relativi al fabbisogno energetico complessivo, espressi in kWh/m³.

Tabella 32 – Fabbisogno energetico legato all'impianto di raffrescamento, di riscaldamento e complessivo: sintesi dei risultati relativi ai cinque scenari applicati ai quattro fabbricati

Procedendo prima con l'analisi per scenari, lo scenario A (Figura 63) mostra come il fabbricato 2, in struttura in acciaio e tamponamenti in muratura, parta da una situazione più svantaggiata rispetto agli altri tre casi studio. I fabbricati che presentano il fabbisogno energetico più basso sono invece, nell'ordine, il 4 e il 3; quest'ultimo presenta un fabbisogno pari a quasi la metà di quello relativo al fabbricato 1 e a più della metà di quello relativo al fabbricato 2, sia in inverno che in estate.

Di seguito si riportano i valori relativi al fabbisogno energetico dei quattro fabbricati nello scenario, stralciati dalla Tabella 32:

FABBRICATO 1			FABBRICATO 2			FABBRICATO 3			FABBRICATO 4		
kWh/m ³ C	kWh/m ³ H	kWh/m ³ Tot	kWh/m ³ C	kWh/m ³ H	kWh/m ³ Tot	kWh/m ³ C	kWh/m ³ H	kWh/m ³ Tot	kWh/m ³ C	kWh/m ³ H	kWh/m ³ Tot

A 53.86 38.92 92.78 | 67.32 48.51 115.83 | 29.97 20.38 50.35 | 9.41 6.23 15.64

**Fabbisogno energetico legato all'impianto di raffrescamento, di riscaldamento e complessivo:
scenario A (stralcio della Tabella 32)**

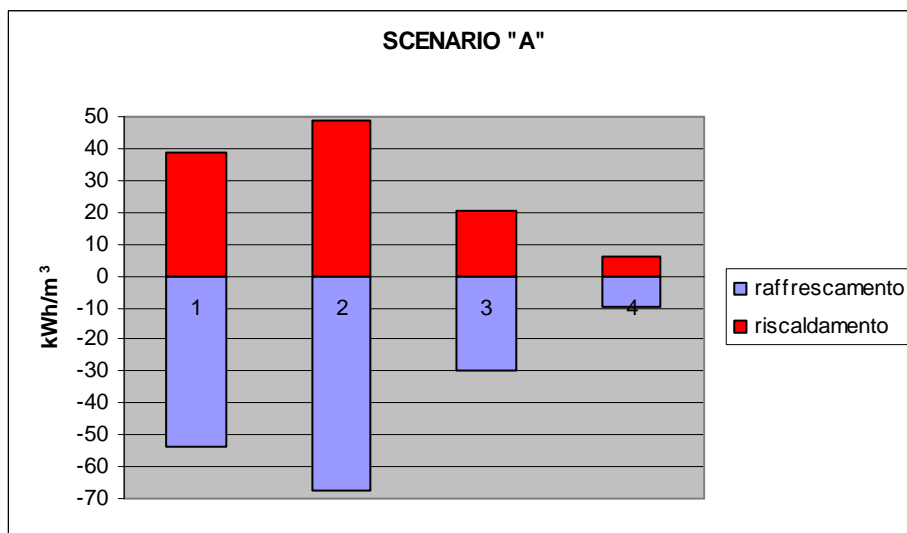


Figura 63 – Scenario A (stato di fatto)

Lo scenario B mostra una modesta riduzione del fabbisogno energetico, maggiore in estate in relazione all'impianto di raffrescamento.

FABBRICATO 1			FABBRICATO 2			FABBRICATO 3			FABBRICATO 4		
kWh/m ³ C	kWh/m ³ H	kWh/m ³ Tot	kWh/m ³ C	kWh/m ³ H	kWh/m ³ Tot	kWh/m ³ C	kWh/m ³ H	kWh/m ³ Tot	kWh/m ³ C	kWh/m ³ H	kWh/m ³ Tot

B 46.84 34.58 81.42 | 54.93 40.91 95.83 | 24.47 17.05 41.52 | 8.99 5.97 14.96

**Fabbisogno energetico legato all'impianto di raffrescamento, di riscaldamento e complessivo:
scenario B (stralcio della Tabella 32)**

A differenza dello stesso scenario analizzato in assenza di impianti di controllo termico, si può notare come in questo caso l'inserimento del cappotto rappresenti sempre un intervento migliorativo, in quanto, come ben noto, il cappotto aiuta a mantenere all'interno le temperature generate dall'impianto, limitando la dispersione del calore all'esterno.

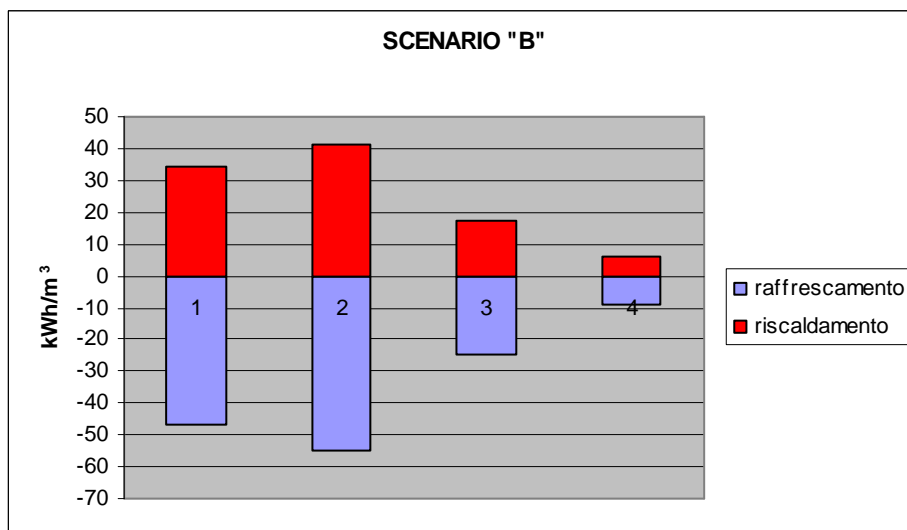


Figura 64 – Scenario B (cappotto)

Lo scenario C risulta peggiorativo rispetto allo scenario B e in parte anche rispetto allo stato di fatto (limitatamente al fabbisogno legato all'impianto di riscaldamento).

FABBRICATO 1			FABBRICATO 2			FABBRICATO 3			FABBRICATO 4		
kWh/m³ C	kWh/m³ H	kWh/m³ Tot	kWh/m³ C	kWh/m³ H	kWh/m³ Tot	kWh/m³ C	kWh/m³ H	kWh/m³ Tot	kWh/m³ C	kWh/m³ H	kWh/m³ Tot

C | 51.62 39.07 90.69 | 63.70 49.33 113.03 | 29.12 20.31 49.43 | 8.64 6.44 15.07

**Fabbisogno energetico legato all'impianto di raffrescamento, di riscaldamento e complessivo:
scenario C (stralcio della Tabella 32)**

Rispetto al fabbisogno legato all'impianto di raffrescamento, lo scenario C risulta quindi migliore dello stato di fatto ma peggiore dello scenario B, ad esclusione del fabbricato 4 che invece migliora anche rispetto allo scenario B (il che si spiega considerando che il fabbricato 4 è dotato di cappotto anche nel terzo scenario, che quindi rappresenta in questo caso una combinazione di interventi).

Rispetto al fabbisogno legato all'impianto di riscaldamento, lo scenario C è invece sempre peggiorativo, ad eccezione del fabbricato 3 rispetto allo stato di fatto, dove però il decremento di fabbisogno specifico è irrisorio (20.31 kWh/m³ dello scenario C contro 20.38 kWh/m³ dello scenario A). Ciò è facilmente spiegabile considerando che l'ombreggiatura verde filtra i raggi solari, che in inverno avrebbero però un apporto positivo, aumentando la temperatura interna del locale e avvicinandola a quella di comfort.

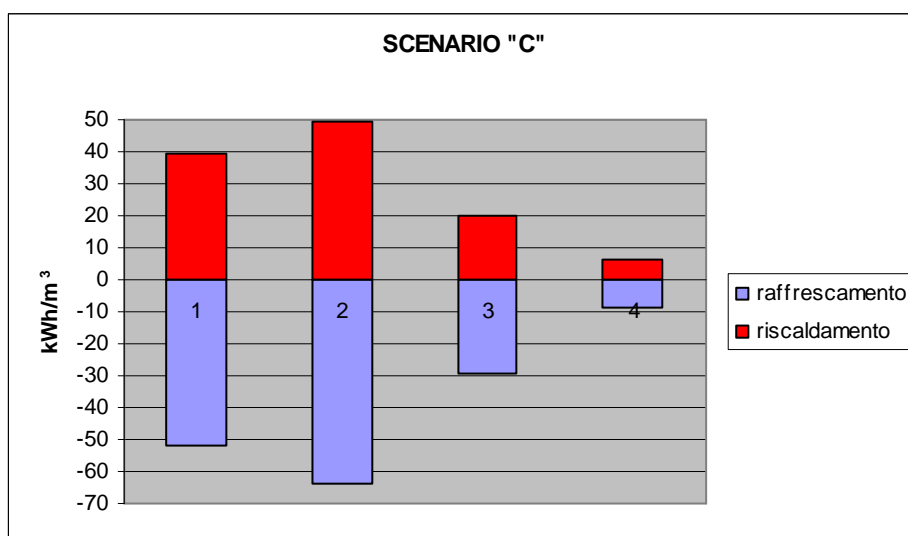


Figura 65 – Scenario C (ombreggiatura)

Lo scenario D, relativo all'inserimento dell'isolamento in copertura in pannelli in fibra di legno, risulta notevolmente migliore dei precedenti, sia in inverno che in estate, vedendo i valori del fabbisogno energetico circa dimezzati nei periodi caldi e più che dimezzati nei periodi freddi. L'unica eccezione è rappresentata dal fabbricato 4, per il quale si verifica invece una riduzione del fabbisogno molto più modesta (da 9.41 kWh/m³ a 8.90 kWh/m³ per l'impianto di raffrescamento e da 6.23 kWh/m³ a 5.80 kWh/m³ per l'impianto di riscaldamento). Ciò è dovuto al fatto che anche negli scenari precedenti il fabbricato 4 era comunque dotato di isolamento in copertura, anche se in materiale diverso (pannelli di polistirene espanso invece che in fibra di legno).

I risultati relativi ai quattro casi studio sono riportati di seguito:

FABBRICATO 1			FABBRICATO 2			FABBRICATO 3			FABBRICATO 4		
kWh/m³ C	kWh/m³ H	kWh/m³ Tot	kWh/m³ C	kWh/m³ H	kWh/m³ Tot	kWh/m³ C	kWh/m³ H	kWh/m³ Tot	kWh/m³ C	kWh/m³ H	kWh/m³ Tot

D | 26.08 16.06 42.14 | 33.01 20.43 53.44 | 17.76 10.76 28.52 | 8.90 5.80 14.70

**Fabbisogno energetico legato all'impianto di raffrescamento, di riscaldamento e complessivo:
scenario D (stralcio della Tabella 32)**

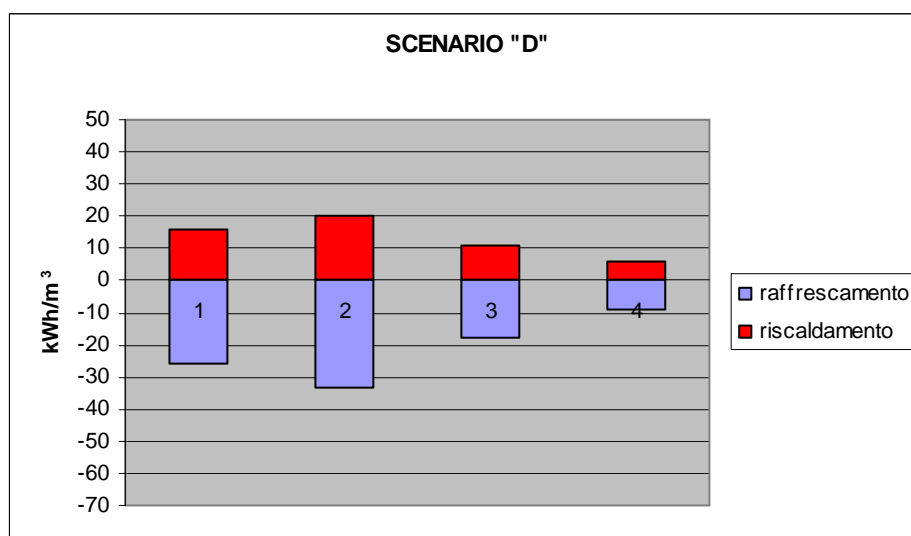


Figura 66 – Scenario D (isolamento in copertura)

Lo scenario E rappresenta infine la combinazione degli scenari precedenti, pertanto mostra valori del fabbisogno energetico generalmente inferiori rispetto a quelli dello scenario D.

In particolare il fabbisogno energetico del fabbricato 1 cala di un quantitativo molto modesto (da 26.08 kWh/m³ a 23.68 kWh/m³ per l'impianto di raffrescamento e da 16.06 kWh/m³ a 15.78 kWh/m³ per l'impianto di riscaldamento), mentre la riduzione del fabbisogno nel fabbricato 2 risulta molto più consistente (da 33.01 kWh/m³ a 15.71 kWh/m³ per l'impianto di raffrescamento e da 20.43 kWh/m³ a 10.25 kWh/m³ per l'impianto di riscaldamento). Il fabbricato 3 presenta invece una riduzione del fabbisogno intermedia (da 17.76 kWh/m³ a 10.91 kWh/m³ per l'impianto di raffrescamento e da 10.76 kWh/m³ a 6.69 kWh/m³ per l'impianto di riscaldamento), mentre il fabbisogno del fabbricato 4 rimane pressoché invariato (da 8.90 a 8.15 per l'impianto di raffrescamento e da 5.80 a 6.00 per l'impianto di riscaldamento), registrando anzi un aumento nel periodo estivo.

Di seguito si riporta la sintesi dei risultati relativa allo scenario E:

	FABBRICATO 1			FABBRICATO 2			FABBRICATO 3			FABBRICATO 4		
	kWh/m³	kWh/m³	kWh/m³	kWh/m³	kWh/m³	kWh/m³	kWh/m³	kWh/m³	kWh/m³	kWh/m³	kWh/m³	kWh/m³
	C	H	Tot	C	H	Tot	C	H	Tot	C	H	Tot
E	15.09	9.46	24.55	15.42	9.96	25.39	10.79	6.59	17.38	7.82	5.71	13.53

**Fabbisogno energetico legato all'impianto di raffrescamento, di riscaldamento e complessivo:
scenario E (stralcio della Tabella 32)**

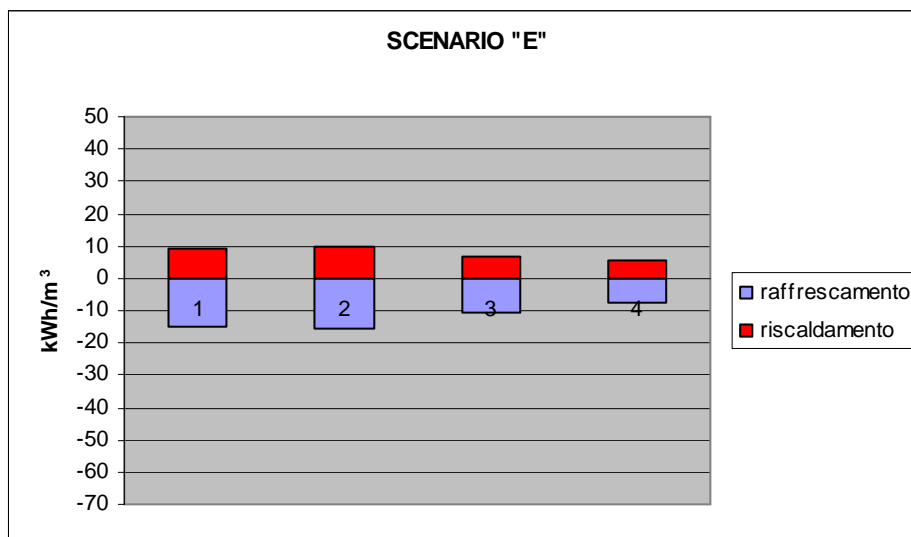


Figura 67 – Scenario E (combinazione A+B+C+D)

Procedendo invece con l'analisi per fabbricati, si ottengono naturalmente gli stessi risultati. Dai grafici riportati dalla Figura 68 alla Figura 71, risultano però maggiormente visibili gli effetti dei diversi scenari sul singolo fabbricato e appare subito evidente quali siano gli interventi energeticamente migliorativi o peggiorativi per ogni caso studio.

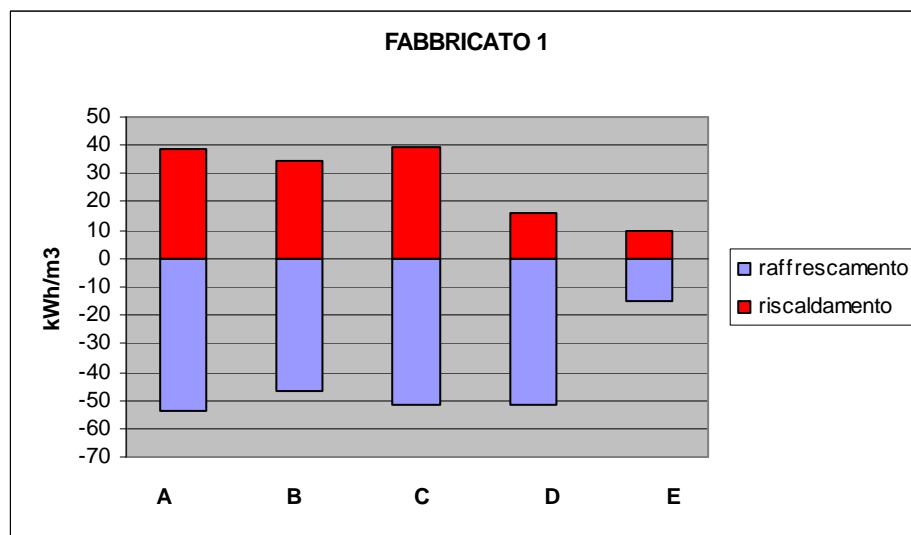


Figura 68 – Fabbisogno energetico legato all'impianto di raffrescamento e riscaldamento: confronto dei cinque scenari applicati al fabbricato 1

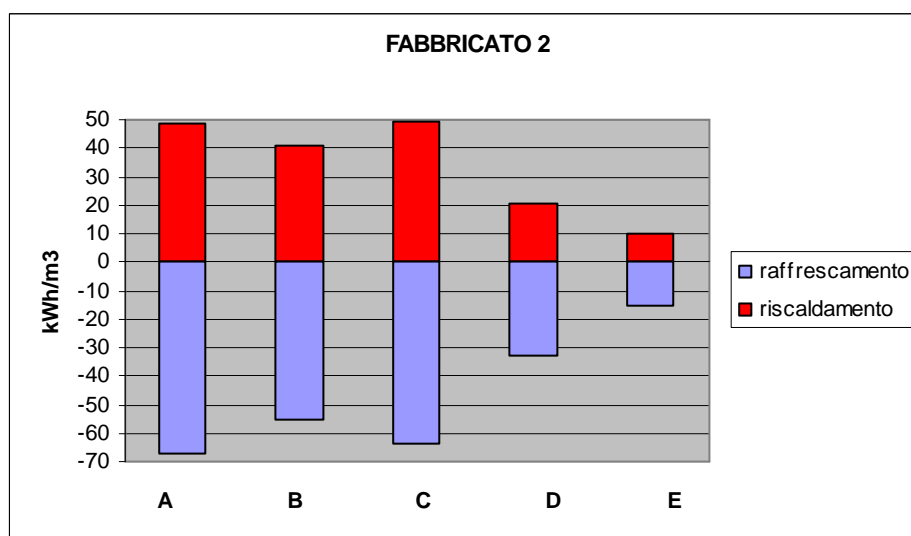


Figura 69 – Fabbisogno energetico legato all'impianto di raffrescamento e riscaldamento: confronto dei cinque scenari applicati al fabbricato 2

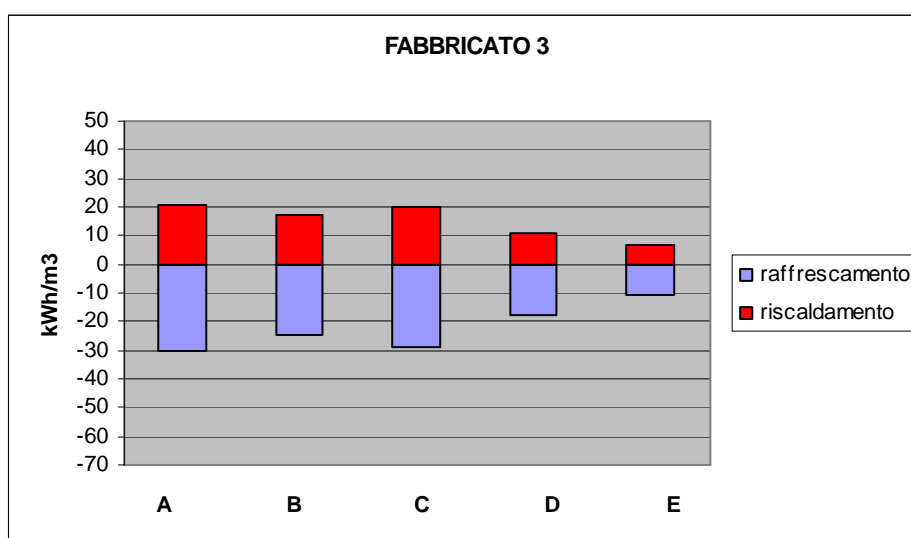


Figura 70 – Fabbisogno energetico legato all'impianto di raffrescamento e riscaldamento: confronto dei cinque scenari applicati al fabbricato 3

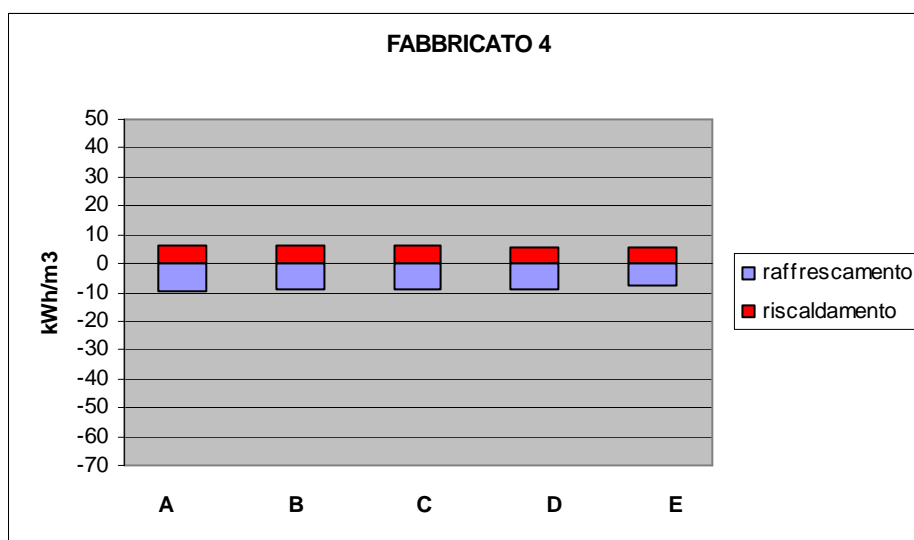


Figura 71 – Fabbisogno energetico legato all’impianto di raffrescamento e riscaldamento: confronto dei cinque scenari applicati al fabbricato 4

Nelle due tabelle che seguono (Tabella 33 e Tabella 34), è nuovamente riportata la sintesi dei risultati relativi alle simulazioni in presenza di impianti di controllo termico: in grigio sono evidenziate le situazioni in cui si verifica la maggior riduzione del fabbisogno energetico (escludendo l’ultimo scenario, combinazione dei precedenti, che è ovviamente il migliore in assoluto). Nella Tabella 33, sono trattati separatamente i fabbisogni relativi all’impianto di raffrescamento (Cooling) e quelli relativi all’impianto di riscaldamento (Heating), mentre nella Tabella 34 sono riassunti i fabbisogni totali relativi all’intero anno.

SCENARI	FABBRICATO 1		FABBRICATO 2		FABBRICATO 3		FABBRICATO 4	
	kWh/m ³ C	kWh/m ³ H	kWh/m ³ C	kWh/m ³ H	kWh/m ³ C	kWh/m ³ H	kWh/m ³ C	kWh/m ³ H
A	53.86	38.92	67.32	48.51	29.97	20.38	9.41	6.23
B	46.84	34.58	54.93	40.91	24.47	17.05	8.99	5.97
C	51.62	39.07	63.70	49.33	29.12	20.31	8.64	6.44
D	26.08	16.06	33.01	20.43	17.76	10.76	8.90	5.80
E	15.09	9.46	15.42	9.96	10.79	6.59	7.82	5.71

Tabella 33 – Fabbisogni energetici legati all’impianto di raffrescamento e riscaldamento: sintesi dei risultati relativi ai cinque scenari applicati ai quattro fabbricati

SCENARI	FABBR. 1	FABBR. 2	FABBR. 3	FABBR. 4
	kWh/m ³	kWh/m ³	kWh/m ³	kWh/m ³
A	92.78	115.83	50.35	15.64
B	81.42	95.83	41.52	14.96
C	90.69	113.03	49.43	15.07
D	42.14	53.44	28.52	14.70
E	24.55	25.39	17.38	13.53

Tabella 34 – Fabbisogni energetici complessivi legati all’impianto di controllo termico: sintesi dei risultati relativi ai cinque scenari applicati ai quattro fabbricati

Complessivamente, gli scenari ordinati secondo gli effetti prodotti, dal più performante al minore sono quindi i seguenti (escludendo il fabbricato 4, per le considerazioni già esposte in precedenza):

- per il periodo estivo:
 1. combinazione di scenari
 2. isolamento in copertura
 3. isolamento in parete
 4. ombreggiatura
 5. stato di fatto
- per il periodo invernale:
 1. combinazione di scenari
 2. isolamento in copertura
 3. isolamento in parete
 4. stato di fatto
 5. ombreggiatura
- per l'intero anno:
 1. combinazione di scenari
 2. isolamento in copertura
 3. isolamento in parete
 4. ombreggiatura
 5. stato di fatto

L'ordinamento degli scenari dal migliore al peggiore, relativo al fabbisogno annuo complessivo, ricalca quello relativo al fabbisogno del solo impianto di raffrescamento estivo, in quanto quest'ultimo risulta sempre molto più cospicuo rispetto al fabbisogno legato all'impianto di riscaldamento invernale.

4.2.2. Stima dei costi degli interventi

Al fine di permettere una maggiore comprensione, circa la convenienza dei diversi interventi energeticamente migliorativi, si è ritenuto opportuno compiere una stima economica di massima di tali interventi. Il costo complessivo è stato quindi rapportato all'unità di volume dei singoli fabbricati.

In questo modo, è possibile confrontare i fabbisogni specifici legati all'impianto di controllo termico con il costo degli interventi, essendo entrambi i valori rapportati al metro cubo. In questo modo, si ottiene quindi il valore in euro di spesa necessaria a ottenere una riduzione del fabbisogno pari a 1kWh all'anno.

Come riportato nella Tabella 35, il costo relativo all'intervento di isolamento a cappotto delle pareti perimetrali (scenario B) è pari 8 571.00 € per il fabbricato 1, 9 237.00 € per il fabbricato 2, 29 589.00 € per il fabbricato 3 e 9 057.00 € per il fabbricato 4. Rapportando il costo complessivo dell'intervento all'unità di volume di ogni fabbricato, si ottengono i seguenti costi unitari: 28.00 € per il fabbricato 1, 32.00 € per il fabbricato 2, 17.00 €, per il fabbricato 3 e 35.00 € per il fabbricato 4.

Per la determinazione dei costi, sono state considerate le seguenti voci:

- Ponteggi: allestimento di ponteggi in castelli prefabbricati, compreso il montaggio, il nolo fino a 6 mesi e lo smontaggio a lavori ultimati, per altezze fino a 10.00 m dal piano di campagna;
- Isolante: isolamento termico a cappotto realizzato mediante l'impiego di pannelli in polistirene espanso, spessore 12 cm. Comprende la preparazione della superficie, mediante raschiatura e pulizia, la stesura di pasta collante, il fissaggio meccanico con appositi tasselli, il rivestimento con uno strato di intonaco armato costituito da idonea malta rasante in cui verrà annegata una rete di filo di vetro trattata, un'ulteriore rasatura di spessore sufficiente a coprire la rete stessa e una finitura in intonaco plastico continuo del tipo spatolato. Misurazione vuoto per pieno con detrazione dei vuoti superiori ai 4 m².

SCENARIO B										
			FABBRICATO 1		FABBRICATO 2		FABBRICATO 3		FABBRICATO 4	
	U.M.	P.U.	QUANT.	P. TOT	QUANT.	P. TOT	QUANT.	P. TOT	QUANT.	P. TOT
Ponteggi	m ²	€ 20.00	123	€ 2 464.00	130	€ 2 590.00	444	€ 8 880.00	126	€ 2 516.00
Isolante	m ²	€ 56.00	109	€ 6 107.00	119	€ 6 647.00	370	€ 20 709.00	116.8	€ 6 541.00
				€ 8 571.00		€ 9 237.00		€ 29 589.00		€ 9 057.00
			m ³	€/m ³	m ³	€/m ³	m ³	€/m ³	m ³	€/m ³
			311	€ 28.00	285	€ 32.00	1770	€ 17.00	256	€ 35.00

Tabella 35 – Stima dei costi relativi all'intervento di isolamento a cappotto (scenario B) per i quattro fabbricati: costo complessivo al m³

Il costo dell'intervento previsto nello scenario C (schermatura verde in foglie di vite) è stato calcolato prevedendo la messa a dimora di piante di vite su rete applicata ad una struttura portante in acciaio. In particolare, le voci considerate per la stima dei costi sono le seguenti:

- Ponteggi: allestimento di ponteggi in castelli prefabbricati, compreso il montaggio, il nolo fino a 6 mesi e lo smontaggio a lavori ultimati, per altezze fino a 10.00 m dal piano di campagna;
- Struttura: struttura portante in tubolari di acciaio, costituita da:
 - montanti verticali 40x40 mm (per i fabbricati 1, 2 e 4, più bassi) o 60x60 mm (per il fabbricato 3, più alto), spessore 4 mm, posizionati uno ogni 1.50 m
 - due montanti orizzontali, 40x40 mm, spessore 4 mm, estesi a tutta la lunghezza della struttura)

Sono comprese la fornitura e la posa;

- Rete: rete in filo di acciaio zincato plastificato per recinzione, maglia 45x45 mm a rombo, diametro esterno del filo mm. 2.60. Fornitura e posa, incluso fissaggio alla struttura in acciaio;
- Rampicanti: fornitura e messa a dimora di piante di vite (Parthenocissus quinquefolia e tricuspidata Veitchii), una ogni 50 cm di lunghezza della schermatura. Include la preparazione del terreno.

Come indicato nella Tabella 36, il costo dell'intervento stimato è pari a 2 627.00 € per il fabbricato 1, 2 581.00 € per il fabbricato 2, 14 541.00 € per il fabbricato 3 e 2 813.00 € per il fabbricato 4. Rapportando il costo complessivo dell'intervento all'unità di volume di ogni fabbricato, si ottengono i seguenti costi unitari: 8.00 € per i fabbricati 1 e 3, 9.00 € per il fabbricato 2, e 11.00 € per il fabbricato 4.

SCENARIO C										
			FABBRICATO 1		FABBRICATO 2		FABBRICATO 3		FABBRICATO 4	
	U.M.	P.U.	QUANT.	P. TOT	QUANT.	P. TOT	QUANT.	P. TOT	QUANT.	P. TOT
Ponteggi	m ²	€ 20.00	45	€ 903.00	45	€ 900.00	325	€ 6 500.00	52	€ 1 045.00
Struttura	kg	€ 3.90	231	€ 901.00	226	€ 881.00	1113	€ 4 341.00	222	€ 866.00
Rete	m ²	€ 8.00	45	€ 361.00	45	€ 360.00	325	€ 2 600.00	52	€ 418.00
Rampicanti	cad	€ 22.00	21	€ 462.00	20	€ 440.00	50	€ 1 100.00	22	€ 484.00
				€ 2 627.00		€ 2 581.00		€ 14 541.00		€ 2 813.00
			m ³	€/m ³	m ³	€/m ³	m ³	€/m ³	m ³	€/m ³
			311	€ 8.00	285	€ 9.00	1770	€ 8.00	256	€ 11.00

Tabella 36 – Stima dei costi relativi all'intervento di inserimento di schermatura (scenario C) per i quattro fabbricati

La Tabella 37 mostra invece i costi stimati relativi all'intervento di isolamento in copertura in pannelli di fibra di legno (scenario D), che risultano pari a 8 371.00 € per il fabbricato 1, 7 520.00 € per il fabbricato 2, 26 280.00 € per il fabbricato 3 e 6 344.00 € per il fabbricato 4. Rapportando il

costo complessivo dell'intervento all'unità di volume di ogni fabbricato, si ottengono i seguenti costi unitari: 27.00 € per il fabbricato 1, 26.00 € per il fabbricato 2, 15.00 € per il fabbricato 3 e 25.00 € per il fabbricato 4.

Per la determinazione dei costi, sono state considerate le seguenti voci:

- Ponteggi: allestimento di ponteggi in castelli prefabbricati, compreso il montaggio, il nolo fino a 6 mesi e lo smontaggio a lavori ultimati, per altezze fino a 10.00 m dal piano di campagna;
- Manto: rimozione e ripristino di manto di copertura di qualsiasi tipo (coppi, tegole, lamiera), inclusa la sostituzione delle parti ammalorate, stimate pari al 30%. Include l'accatastamento del materiale rimosso nell'area di cantiere e il trasporto in discarica del materiale non riutilizzabile.
- Isolante: isolamento termico in pannelli in fibra di legno, spessore 12 cm, applicati al di sotto del manto di copertura. Include fornitura, posa e il fissaggio alla struttura.

SCENARIO D										
			FABBRICATO 1		FABBRICATO 2		FABBRICATO 3		FABBRICATO 4	
	U.M.	P.U.	QUANT.	P. TOT	QUANT.	P. TOT	QUANT.	P. TOT	QUANT.	P. TOT
Ponteggi	m ²	€ 20.00	123	€ 2 464.00	130	€ 2 590.00	444	€ 8 880.00	126	€ 2 516.00
Manto	m ²	€ 18.00	102	€ 1 833.00	85	€ 1 530.00	300	€ 5 400.00	66	€ 1 188.00
Isolante	m ²	€ 40.00	102	€ 4 074.00	85	€ 3 400.00	300	€ 12 000.00	66	€ 2 640.00
				€ 8 371.00		€ 7 520.00		€ 26 280.00		€ 6 344.00
			m ³	€/m ³	m ³	€/m ³	m ³	€/m ³	m ³	€/m ³
			311	€ 27.00	285	€ 26.00	1770	€ 15.00	256	€ 25.00

Tabella 37 – Stima dei costi relativi all'intervento di isolamento della copertura (scenario D) per i quattro fabbricati

Infine è stato determinato il costo relativo allo scenario E (Tabella 38), che prevedendo un unico ponteggio per tutti i tipi di intervento, risulta inferiore alla somma dei tre interventi precedentemente descritti. In particolare i costi stimati sono pari a 16 507.00 € per il fabbricato 1, 16 048.00 € per il fabbricato 2, 55 290.00€ per il fabbricato 3 e 14 422.00 € per il fabbricato 4. Rapportando il costo complessivo dell'intervento all'unità di volume di ogni fabbricato, si ottengono i seguenti costi unitari: 53.00 € per il fabbricato 1, 56.00 € per i fabbricati 2 e 4, e 31.00 € per il fabbricato 3.

SCENARIO E										
			FABBRICATO 1		FABBRICATO 2		FABBRICATO 3		FABBRICATO 4	
	U.M.	P.U.	QUANT.	P. TOT	QUANT.	P. TOT	QUANT.	P. TOT	QUANT.	P. TOT
Ponteggi	m ²	€ 20.00	138	€ 2 769.00	140	€ 2 790.00	457	€ 9 140.00	114	€ 2 285.00
Cappotto	m ²	€ 56.00	109	€ 6 107.00	119	€ 6 647.00	370	€ 20 709.00	117	€ 6 541.00
Struttura	kg	€ 3.90	231	€ 901.00	226	€ 881.00	1113	€ 4 341.00	222	€ 866.00
Rete	m ²	€ 8.00	45	€ 361.00	45	€ 360.00	325	€ 2 600.00	52	€ 418.00
Rampicanti	cad	€ 22.00	21	€ 462.00	20	€ 440.00	50	€ 1 100.00	22	€ 484.00
Manto	m ²	€ 18.00	102	€ 1 833.00	85	€ 1 530.00	300	€ 5 400.00	66	€ 1 188.00
Isol. cop.	m ²	€ 40.00	102	€ 4 074.00	85	€ 3 400.00	300	€ 12 000.00	66	€ 2 640.00
				€ 16 507.00		€ 16 048.00		€ 55 290.00		€ 14 422.00
			m ³	€/m ³	m ³	€/m ³	m ³	€/m ³	m ³	€/m ³
			311	€ 53.00	285	€ 56.00	1770	€ 31.00	256	€ 56.00

Tabella 38 – Stima dei costi relativi all'intervento combinato (scenario E) per i quattro fabbricati

4.2.3. Osservazioni sulla convenienza degli interventi

Ottenute le stime dei costi degli interventi, corrispondenti ai diversi scenari analizzati, è possibile fare alcune considerazioni circa l'effettiva convenienza degli interventi più efficaci.

Dai risultati ottenuti dalla stima dei costi degli interventi, rapportati al miglioramento energetico dei fabbricati in termini di riduzione elettrici del fabbisogno energetico legato agli impianti di controllo termico, appare subito evidente che l'intervento descritto nello scenario B (isolamento a cappotto delle pareti perimetrali) essendo il più costoso, e considerandone la scarsa efficacia dimostrata in precedenza, risulta anche poco conveniente. L'intervento descritto dallo scenario C (ombreggiatura verde) è invece il più economico, ma essendo il meno efficace, in termini di riduzione del fabbisogno energetico, non risulta particolarmente significativo. L'intervento descritto nello scenario D (isolamento della copertura), che è invece risultato il più efficace, presenta un costo di poco inferiore rispetto al costo dello scenario B. Lo scenario E, combinazione degli scenari precedenti, presenta un'efficacia maggiore rispetto allo scenario D, ma apparentemente non tale da giustificare il costo, piuttosto alto in quanto risente fortemente del costo dovuto all'intervento di isolamento a cappotto. Pertanto, da una prima analisi di massima, lo scenario D sembrerebbe il più conveniente.

Per effettuare un'analisi più dettagliata dei risultati, è stata quantificata la riduzione del fabbisogno energetico annuo (ΔF), rispetto allo stato di fatto, derivante dall'applicazione dei diversi scenari migliorativi. Tale riduzione è stata quindi calcolata, per ogni fabbricato, come differenza tra i fabbisogni energetici dello scenario migliorativo analizzato e il fabbisogno energetico dello scenario A.

Il costo ottenuto dalla stima degli interventi è stato quindi rapportato a ΔF , ottenendo i corrispondenti valori, espressi in €/kWh, e rappresentanti il costo unitario associato a una riduzione del fabbisogno energetico pari a 1 kWh annuo.

I risultati, sintetizzati nella Tabella 39, confermano quanto ipotizzato nella prima analisi di massima: l'intervento più conveniente risulta infatti l'isolamento della copertura (scenario D). L'unica eccezione è rappresentata dal fabbricato 4, per il quale valgono, però, le considerazioni già esposte in precedenza: essendo il fabbricato 4 già dotato nello stato di fatto di isolamento in copertura e in parete, è normale aspettarsi che l'incidenza maggiore sulla riduzione del fabbisogno energetico sia data dall'unico intervento "innovativo", la schermatura verde.

In particolare, escludendo il fabbricato 4, gli scenari ordinati dal più conveniente al meno conveniente risultano come segue:

- 1) scenario D: isolamento della copertura
- 2) scenario E: combinazione di interventi
- 3) scenario B: isolamento a cappotto delle pareti perimetrali
- 4) scenario C: ombreggiatura verde

I risultati ricalcano quelli ottenuti in precedenza, relativamente agli scenari più efficaci in termini di riduzione del fabbisogno energetico annuo; viene però messo in evidenza come la combinazione di interventi ipotizzata nello scenario E, più efficace, potrebbe non essere però economicamente conveniente, in quanto l'ulteriore riduzione del fabbisogno energetico rispetto allo scenario D, comporta un notevole aumento di costo.

	FABBRICATO 1			FABBRICATO 2			FABBRICATO 3			FABBRICATO 4		
	kWh/m ³	€/m ³	€/m ³ kWh/m ³	kWh/m ³	€/m ³	€/m ³ kWh/m ³	kWh/m ³	€/m ³	€/m ³ kWh/m ³	kWh/m ³	€/m ³	€/m ³ kWh/m ³
B	11.36	€ 28.00	€ 2.47	20.00	€ 32.00	€ 1.60	8.83	€ 17.00	€ 1.93	0.68	€ 35.00	€ 51.22
C	2.09	€ 8.00	€ 3.83	2.80	€ 9.00	€ 3.21	0.93	€ 8.00	€ 8.61	0.57	€ 11.00	€ 19.40
D	50.64	€ 27.00	€ 0.53	62.39	€ 26.00	€ 0.42	21.84	€ 15.00	€ 0.69	0.94	€ 25.00	€ 26.60
E	68.23	€ 53.00	€ 0.78	90.44	€ 56.00	€ 0.62	32.98	€ 31.00	€ 0.94	2.11	€ 56.00	€ 26.57

Tabella 39 – Riduzione del fabbisogno energetico rispetto allo stato di fatto, stima dei costi e rapporto €/kWh per ogni scenario migliorativo applicato a ogni fabbricato

4.2.4. Considerazioni finali

Il metodo illustrato rappresenta un valido strumento per verificare l'efficacia dei diversi interventi di retrofit dei fabbricati rurali, in termini di miglioramento delle loro prestazioni termiche e di riduzione del fabbisogno energetico, laddove siano previsti impianti di controllo termico. Il modello proposto, risultando estendibile ad altre tipologie edilizie e contesti geografici, consente di valutare allo stesso tempo le condizioni climatiche e le caratteristiche costruttive in cui l'integrazione di impianti di controllo termico diviene necessaria, in funzione della tipologia di vino e delle specifiche esigenze della fase del processo produttivo in considerazione, ovvero quelle in cui può risultare conveniente un intervento di riqualificazione basato esclusivamente su tecniche passive (come descritto nel paragrafo 4.1.).

Il metodo proposto si è dimostrato utile per quantificare, ponendo al centro il processo di produzione vinicola, le prestazioni delle diverse soluzioni di retrofit in funzione delle caratteristiche iniziali dell'edificio, con riferimento sia ad interventi di coibentazione dei muri perimetrali e del coperto, su cui si è inteso testare il modello in ragione dell'ampia diffusione e del frequente impiego, nonché ad interventi basati sull'integrazione del verde nell'edilizia, in ragione della sostenibilità ambientale ed economica e della realizzabilità diretta all'interno dell'azienda agricola.

L'analisi è stata svolta considerando un intervallo di comfort del vino compreso tra i 12°C e i 18°C, ma lo stesso metodo è applicabile considerando altri intervalli, opportunamente definiti sulla base delle caratteristiche del vino da conservare e della tipologia di affinamento. Poiché, tuttavia, da un'analisi della letteratura scientifica risulta che l'intervallo scelto è idoneo alla conservazione della maggioranza dei vini in commercio, i risultati ottenuti in termini di riduzione dei fabbisogni, come ad esempio la generale maggior efficacia dell'isolamento in copertura rispetto a quello in parete, forniscono informazioni utili ed ampiamente valide.

Un'ulteriore osservazione riguarda il solo isolamento a cappotto, che risulta avere un'efficacia maggiore sulla riduzione del fabbisogno energetico dei fabbricati in presenza di impianti, rispetto alla riduzione del discomfort in ambienti non climatizzati (analizzata nel paragrafo 4.1.). Ciò è dovuto al fatto che il cappotto, ostacolando lo scambio di calore tra ambienti, aiuta comunque a mantenere la temperatura interna del locale, ma nel caso in cui siano presenti impianti termici all'interno, tale temperatura risulta idonea alla conservazione del vino (in quanto settata), mentre in assenza di impianti termici essa dipende da fattori quali le condizioni meteorologiche esterne, i cui valori sono nella maggioranza dei casi non compresi nell'intervallo di comfort, e le proprietà dei materiali. In entrambi i casi l'entità del miglioramento è comunque contenuta e, come accennato nel paragrafo 4.1.3., ciò può risultare in contraddizione con i risultati attesi derivanti analizzando esclusivamente i valori della trasmittanza, i quali potrebbero suggerire un sostanziale contributo migliorativo.

L'analisi della convenienza economica degli interventi di retrofit descritti è stata condotta attraverso una stima dei costi di intervento rapportati al volume del locale oggetto di studio, tralasciando quindi le caratteristiche dell'impianto, in quanto esse possono variare da caso a caso e la loro considerazione specifica esulava dagli obiettivi del presente studio. La stima economica degli interventi condotta nel presente studio si dimostra dunque un valido strumento di supporto per le analisi di pay-back, da condurre in funzione della specifica tipologia di impianto o della combinazione di più sistemi e tecnologie, dei costi energetici e della loro variazione nel tempo, nonché dei costi di manutenzione. Le analisi condotte sono altresì di fondamentale supporto per l'analisi dell'impronta ambientale delle varie soluzioni analizzate, in relazione al mix energetico di un dato contesto geografico.

Capitolo 5 - Conclusioni

Il presente studio illustra un metodo per l'analisi degli interventi di retrofit finalizzati al miglioramento delle prestazioni termiche ed energetiche di fabbricati di aziende vitivinicole, con particolare riferimento agli interventi in grado di consentire una conversione di edifici esistenti a locali per la conservazione del vino in bottiglia. Il metodo proposto, testato su diverse tipologie edilizie mediante soluzioni di coibentazione e schermatura vegetale, consente la valutazione comparativa di soluzioni di riqualificazione, sia nel caso in cui adeguamenti di tipo passivo consentano di raggiungere idonee condizioni per il processo produttivo, sia nel caso in cui i locali siano soggetti a controllo termico mediante impianti HVAC, valutando nel primo caso il grado di comfort del vino e nel secondo caso il beneficio in termini di fabbisogno energetico dei fabbricati.

I quattro casi studio, nei cinque scenari proposti, rappresentano una casistica altamente rappresentativa per l'area studio emiliano-romagnola analizzata. Attraverso tali casi studio è stato anzitutto possibile definire e validare il metodo di analisi, ed al contempo si sono ottenuti risultati interessanti e più generalmente validi in termini di tipologie edilizie e contesti geografici, ai fini della valutazione degli interventi di retrofit.

Tra questi, in primo luogo viene messa in evidenza la maggiore efficacia dell'isolamento della copertura, rispetto all'isolamento delle pareti perimetrali, sia in termini di miglioramento delle prestazioni dell'involucro edilizio, in assenza di impianti di controllo termico, sia in termini di riduzione del fabbisogno energetico del fabbricato, prevedendo invece l'utilizzo di impianti di raffrescamento e di riscaldamento.

Un'ulteriore osservazione riguarda il solo isolamento a cappotto, che risulta avere un'efficacia maggiore sulla riduzione del fabbisogno energetico dei fabbricati in presenza di impianti, rispetto alla riduzione del discomfort in ambienti non climatizzati. In entrambi i casi l'entità del miglioramento è comunque contenuta e, come accennato nel paragrafo 4.1.3, ciò può risultare in contraddizione con i risultati attesi derivanti dall'analisi della trasmittanza dell'involucro, che potrebbe suggerire invece un contributo sostanziale di tale intervento migliorativo. I risultati ottenuti mettono quindi in evidenza l'utilità di un metodo basato sull'utilizzo di un software di simulazione termica per ottenere risultati più precisi ed espliciti sui valori di temperatura interna, altrimenti non individuabili da un semplice calcolo delle trasmittanze dell'involucro.

Tra gli sviluppi futuri della presente ricerca, si citano, oltre all'applicazione del metodo proposto ad ulteriori soluzioni edilizie, a strategie di retrofit e ad aree geografiche, anche l'estensione della metodologia stessa al fine di:

- considerare anche il parametro dell'umidità interna, con particolare riferimento alle applicazioni specificatamente rivolte ai locali dove è previsto l'affinamento del vino in botte o barrique. A tal proposito, il modello potrebbe essere utilmente completato attraverso

analisi fluidodinamiche finalizzate ad ottimizzare i ricambi d'aria, per il contenimento sia della formazione di muffe che dell'evaporazione del vino;

- integrare nel modello le caratteristiche degli impianti e delle possibili soluzioni combinate di livello impiantistico, al fine di sviluppare l'analisi di pay-back delle soluzioni di efficientamento poste a confronto, in funzione del contesto economico del mercato dell'energia;
- considerare ulteriori intervalli di temperatura, rispetto a quelli ricavati dalla letteratura scientifica presi a riferimento per le analisi (10-20°C e 12-18°C, rispettivamente in assenza e in presenza di impianti di controllo termico all'interno dei locali), in funzione della tipologia di prodotto e di processo di affinamento oggetto di studio, nonché delle valutazioni specifiche di carattere enologico che possano essere effettuate nel caso di un'applicazione ad un caso specifico. Si evidenzia al proposito come il metodo proposto risulti direttamente valido ed estendibile alla valutazione di soluzioni di retrofit anche per diversi intervalli di temperatura, come ad esempio quelli più idonei per la conservazione di vini bianchi che possano richiedere temperature di conservazione inferiori, o per l'invecchiamento di vini rossi, per i quali siano invece necessarie temperature superiori ai 12-13°C, idonee a consentire la fermentazione malolattica.

Le analisi effettuate nel presente studio rappresentano quindi un valido contributo a supporto della valutazione degli interventi di retrofit, integrabile con l'analisi di ulteriori parametri e valutazioni specifiche.

BIBLIOGRAFIA

- Alberti, Leon Battista. 1565. *L Architettura Tradotta in Lingua Fiorentina Da Cosimo Bartoli (The Architecture Translated by Cosimo Bartoli)*. Venezia: Franceschi Franceschi Senese.
- Alexandri, Eleftheria, and Phil Jones. 2008. "Temperature Decreases in an Urban Canyon due to Green Walls and Green Roofs in Diverse Climates." *Building and Environment* 43(4): 480–93. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132306003957> (October 20, 2014).
- Al-Homoud, M. S. 2005a. "A Systematic Approach for the Thermal Design Optimization of Building Envelopes." *Journal of Building Physics* 29(2): 95–119. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-33644979228&partnerID=tZOtx3y1> (February 27, 2015).
- Al-Homoud, M.S. 2005b. "Performance Characteristics and Practical Applications of Common Building Thermal Insulation Materials." *Building and Environment* 40(3): 353–66. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-11344284524&partnerID=tZOtx3y1> (January 8, 2015).
- Ayuga, F. 1999. "Wine Processing." *CIGR Handbook of Agricultural Engineering, ASAE*: 419–46.
- Barbaresi, Alberto. 2014. "Modellazione Edilizia E Simulazione Energetica per Le Analisi Delle Prestazioni E La Progettazione Integrata Delle Cantine Aziendali." Università di Bologna.
- Barbaresi, Alberto, Federica De Maria, et al. 2015. "Performance Assessment of Thermal Simulation Approaches of Wine Storage Buildings Based on Experimental Calibration." *Energy and Buildings*.
- Barbaresi, Alberto, Daniele Torreggiani, Stefano Benni, and Patrizia Tassinari. 2014. "Underground Cellar Thermal Simulation: Definition of a Method for Modelling Performance Assessment Based on Experimental Calibration." *Energy and Buildings* 76: 363–72. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778814002278> (July 11, 2014).
- Barbaresi, Alberto, Daniele Torreggiani, Stefano Benni, and Patrizia Tassinari. 2015. "Indoor Air Temperature Monitoring: A Method Lending Support to Management and Design Tested on a Wine-Aging Room." *Building and Environment* 86: 203–10. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132315000062> (January 30, 2015).
- Benni, Stefano et al. 2012. "A Methodology for the Analysis of Dimensional Features of Traditional Rural Buildings to Implement the Farmbuild Model." *Transactions of the ASABE* 55(1): 241–48. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84859766362&partnerID=tZOtx3y1>.
- Bondiac, Enrique. 1953. *Elaboracion de Vinos. Vinificacion Moderna*. Buenos Aires: America Tecnica.
- Christaki, T, and C Tzia. 2002. "Quality and Safety Assurance in Winemaking." *Food Control* 13(8): 503–17. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0036883622&partnerID=tZOtx3y1> (February 28, 2015).
- Failla, A., G. Tomaselli, and L. Strano. 2008. "The Definition of Planning Criteria for Safe Workplaces in Wineries." In *Innovation Technology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-Food Systems*, Ragusa.

- Fichera, C.R., G. Tomaselli, and S. Di Fazio. 1995. "La Metaprogettazione Edilizia per L'Industria Agraria. Note Di Metodo." *Rivista di Ingegneria Agraria* 18.
- Di Giorgio Martini, Francesco. 1967. *Trattati Di Architettura, Ingegneria E Arte Militare (Treatise on Architecture, Engineering and Art of War)*. Milano: il Polifilo.
- Hidalgo Togores, J. 2003. *Tratado de Enologia*. Madrid: Mundi-Pren.
- Hussain, H. Alzoubi, and Al-Zoubi Amneh H. 2010. "Assessment of Building Façade Performance in Terms of Daylighting and the Associated Energy Consumption in Architectural Spaces: Vertical and Horizontal Shading Devices for Southern Exposure Facades." *Energy Conversion and Management* 51(8): 1592–99.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890409004762> (February 28, 2015).
- Jacquet, P., and C. Capdeville. 2007. *Installazioni Vinicole*. Reggio Emilia: Eco-one.
- Kumar, Rakesh, and S.C. Kaushik. 2005. "Performance Evaluation of Green Roof and Shading for Thermal Protection of Buildings." *Building and Environment* 40(11): 1505–11.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132304003427> (March 14, 2015).
- Marescalchi C. 1965. *Manuale dell'Enologo (Winemaking Manual)*. Casale Monferrato: Fratelli Marescalchi.
- Martín Ocaña, Silvia, and Ignacio Cañas Guerrero. 2005. "Comparison of Hygro-Thermal Conditions in Underground Wine Cellars from a Spanish Area." *Building and Environment* 40(10): 1384–94. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132304003294> (March 14, 2015).
- Martín Ocaña, Silvia, and Ignacio Cañas Guerrero. 2006. "Comparison of Analytical and on Site Temperature Results on Spanish Traditional Wine Cellars." *Applied Thermal Engineering* 26(7): 700–708. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431105002942> (March 14, 2015).
- Martín Ocaña, Silvia, and Ignacio Cañas Guerrero. 2006. "A Comparison between Underground Wine Cellars and Aboveground Storage for the Aging of Spanish Wines." *Transactions of the ASABE* 49(5): 1471–78. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-33845613530&partnerID=tZOtx3y1>.
- Mazarrón, F. R., J. Cid-Falceto, and I. Cañas-Guerrero. 2012. "Assessment of Aboveground Winery Buildings for the Aging and Conservation of Wine." *Applied Engineering in Agriculture* 28(6): 903–10. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84874335968&partnerID=tZOtx3y1>.
- Papadopoulos, A.M. 2005. "State of the Art in Thermal Insulation Materials and Aims for Future Developments." *Energy and Buildings* 37(1): 77–86.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778804001641> (January 8, 2015).
- Patnaik, Asis et al. 2015. "Thermal and Sound Insulation Materials from Waste Wool and Recycled Polyester Fibers and Their Biodegradation Studies." *Energy and Buildings* 92: 161–69.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778815000821> (March 10, 2015).
- Perini, Katia, Marc Ottelé, E. M. Haas, and Rossana Raiteri. 2013. "Vertical Greening Systems, a Process Tree for Green Façades and Living Walls." *Urban Ecosystems* 16(2): 265–77.

- Ribereau-Gayon, P., Y. Glories, A. Maujean, and D. Dobordieau. 2002. *Tratado de Enologia. Quimica Del Vino Estabilizacion Y Tratamientos*. Madrid: Mundi-Pren.
- Ruiz Hernandez, M. 1999. *La Crianza Del Vino Tinto Desde La Prospectiva Viticola*. Madrid: Mundi-Pren.
- Sangiorgi, F., and L. Dioguardi. 2011. "Criteri Di Analisi E Progettazione Integrata Nell'Industria Agroalimentare." In Roma: Ministero dell'Università e della Ricerca.
- Schmidt, A. C. et al. 2004. "A Comparative Life Cycle Assessment of Building Insulation Products Made of Stone Wool, Paper Wool and Flax." *The International Journal of Life Cycle Assessment* 9(1): 53–66.
- SEPSA. 1952. *Guida Pratica de Vinificacion Moderna*. 4th ed. Barcelona: Ediciones Sociedad Enologica del Penedes.
- Tassinari, P. et al. 2010. "The Study of Changes in the Rural Built Environment: Focus on Calibration and Improvement of an Areal Sampling Approach." *Biosystems Engineering* 105(4): 486–94. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511010000255> (March 14, 2015).
- Tassinari, P., E. Carfagna, S. Benni, and D. Torreggiani. 2008. "Wide-Area Spatial Analysis: A First Methodological Contribution for the Study of Changes in the Rural Built Environment." *Biosystems Engineering* 100(3): 435–47.
- Tinti, Francesco et al. 2014. "Experimental Analysis of Shallow Underground Temperature for the Assessment of Energy Efficiency Potential of Underground Wine Cellars." *Energy and Buildings* 80: 451–60. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84903594985&partnerID=tZOtx3y1> (February 27, 2015).
- Troost, G. 1953. *Die Technologie Des Weines*. Stuttgart: Eugen Ulmer.
- Vogt, E. 1971. *Fabricacion de Vinos (Winemaking)*. Zaragoza: Editorial Acribia.
- Zamora, F. 2003. *Elaboracion Y Crianza Del Vino Tinto: Aspectos Cientificos Y Praticos*. Madrid: Mundi-Pren.
- Zevi, L. 2006. *Il Nuovissimo Manuale Dell'architetto*. Mancosu Editore.

ALLEGATI

Allegato A – Approfondimento sul fabbricato 2 (analisi di due ulteriori scenari migliorativi)

Come accennato nel paragrafo 4.1.3., i risultati ottenuti suggeriscono che l'isolamento della copertura in fibre di legno (presente nello scenario D), a parità di spessore, sia migliore dell'isolamento della copertura in polistirene espanso (presente nello scenario B).

A conferma di tale ipotesi, si è deciso di effettuare altre due simulazioni, prevedendo l'estensione dell'isolamento all'intero involucro (pareti e copertura, sempre escludendo porte e finestre): l'isolamento è costituito da pannelli di polistirene espanso di 12 cm di spessore, nella prima simulazione, e da pannelli sempre di 12 cm di spessore ma in fibra di legno, nella seconda simulazione. In questo modo sono stati messi direttamente a confronto i due materiali isolanti.

Le simulazioni sono state effettuate sul solo fabbricato 1, scelto a titolo di esempio, ma i cui risultati sono ragionevolmente estendibili anche ad altri casi studio di simili dimensioni.

Di seguito si riportano i dati ricavati dalle due simulazioni.

La Figura 72 e la Figura 73 mostrano l'andamento della temperatura interna nei due scenari: rispetto allo stato di fatto (Figura 29), le oscillazioni sono in entrambi i casi più contenute e le temperature raggiungono picchi (inferiori e superiori) più bassi. I due andamenti sono comunque molto simili tra loro, evidenziando come la scelta del materiale isolante sia molto meno determinante rispetto alla posizione dell'isolamento.

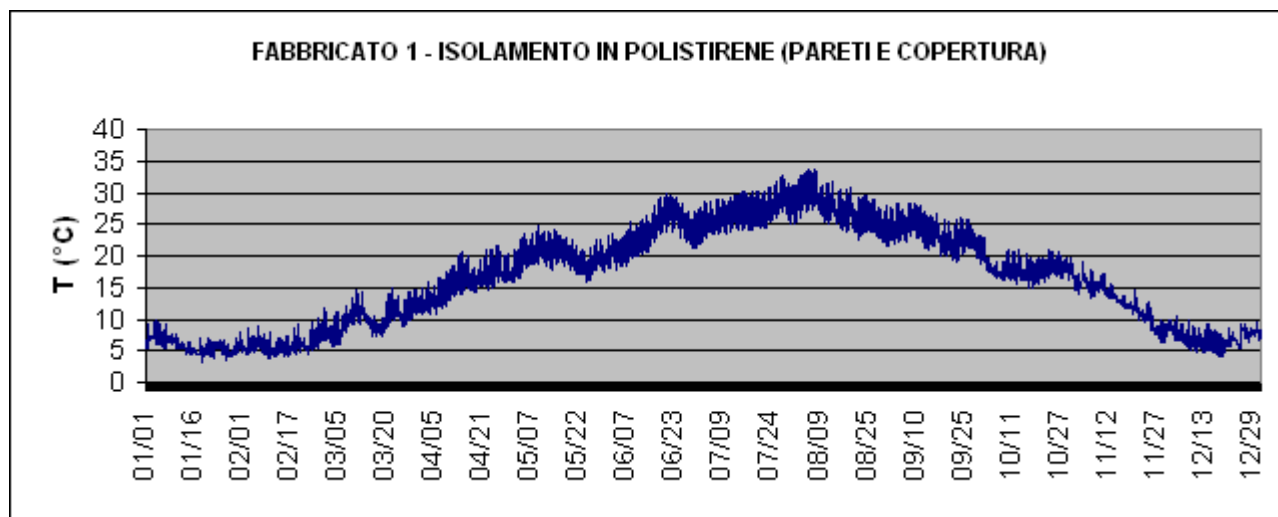


Figura 72 – Andamento della temperatura interna con isolamento in polistirene

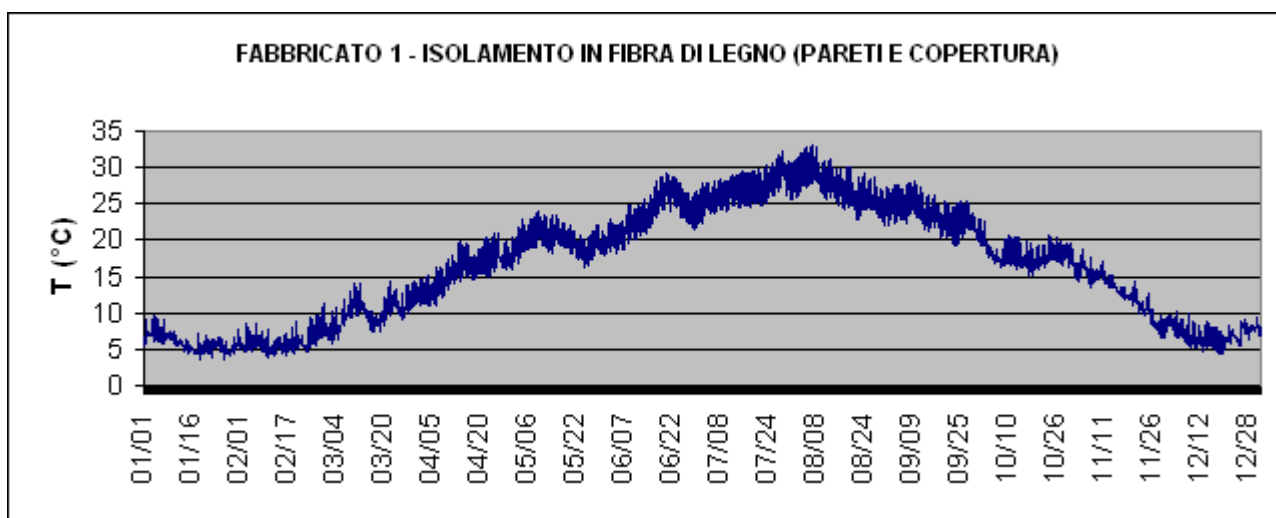


Figura 73 – Andamento della temperatura interna con isolamento in fibre di legno

Nella Tabella 40 sono riportati i risultati relativi alle due simulazioni, sia relativi al caso senza impianti di controllo termico (con l'indicazione dei parametri di discomfort, definiti nel paragrafo 3.4.1.), sia relativi al caso con impianti di riscaldamento e raffrescamento (con l'indicazione del fabbisogno energetico, come indicato nel paragrafo 3.4.2.).

	POLISTIRENE	FIBRA DI LEGNO
dh_{20}	16374	16275
dh_{10}	8905	8764
dh_{tot}	25278	25039
$h_{disc,20}$	3232	3229
$h_{disc,10}$	2661	2640
σ_{20}	3.01	2.92
σ_{10}	1.58	1.52
t_{max}	33.65	33.10
t_{min}	3.29	3.54
$t_{media,20}$	5.07	5.04
$t_{media,10}$	3.35	3.32
$kWh/m^3 C$	4932.54	4867.21
$kWh/m^3 H$	2982.88	2923.69
$kWh/m^3 tot$	7915.42	7790.90

Tabella 40 – Sintesi dei risultati: confronto tra isolamento sull'intero involucro in polistirene e in fibra di legno

Nella seconda simulazione (con isolamento dell'intero involucro in fibre di legno) tutti i valori risultano inferiori a quelli ottenuti nella prima simulazione (con isolamento dell'intero involucro in polistirene), supportando la tesi che, seppur con differenze modeste, l'isolamento in pannelli in fibra di legno sia complessivamente preferibile, in termini di andamento della temperatura interna, all'isolamento in polistirene espanso.